



TUGAS AKHIR – MO.141326

**STUDI EFEKTIVITAS *FLOATING BREAKWATER*
UNTUK MEREDAM GELOMBANG DI PELABUHAN
PENERIMA LNG SENORO, TOILI, LUWUK,
SULAWESI TENGAH**

Dedy Ardiansyah

NRP. 4307100069

Dosen Pembimbing :

Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT – MO.141326

**EFFECTIVENESS STUDIES TO REDUCE WAVES
FLOATING REAKWATER AT THE PORT OF LNG
RECIPIENTS SENORO, TOILI, LUWUK, CENTRAL
SULAWESI**

Dedy Ardiansyah

NRP. 4307100069

Supervisors :

Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

**STUDI EFEKTIVITAS *FLOATING BREAKWATER* UNTUK MEREDAM
GELOMBANG DI PELABUHAN PENERIMA LNG SENORO, TOILI,
LUWUK, SULAWESI TENGAH**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Dedy Ardiansyah
NRP. 4307100069

Disetujui oleh:

1. Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Muhammad Zikra S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Dr. Drs. Mahmud Mustain, M.Sc. (Penguji 1)

4. Dr. Ir. Wahyudi Citrosiswoyo, M.Sc. (Penguji 2)

5. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Penguji 3)

Surabaya, Juli

2016

**STUDI EFEKTIVITAS *FLOATING BREAKWATER* UNTUK MEREDAM
GELOMBANG DI PELABUHAN PENERIMA LNG SENORO, TOILI,
LUWUK, SULAWESI TENGAH**

Nama Mahasiswa : Dedy Ardiansyah
NRP : 4307100069
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.
Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Tugas akhir ini membahas tentang efektivitas dari *floating breakwater* dalam meredam gelombang dan analisa *motion* pada gerakan *sway*, *heave*, dan *roll*. Analisis diawali dengan mencari nilai koefisien transmisi yang diharapkan di pelabuhan, selanjutnya membedakan 3 variasi *draft* dari struktur *floating breakwater* yang sudah ada, yaitu : 15,4 meter, 15,9 meter dan 16,4 meter. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai RAO pada keadaan *sway*, *heave* dan *roll*. Perhitungan menggunakan *software* Ms.Office EXCELL. Analisis selanjutnya adalah menghitung nilai tinggi gelombang yang ditransmisikan oleh *floating breakwater* pada 3 gerakan tersebut. Hasil analisa didapatkan untuk gerakan *sway* pada frekuensi gelombang 1,16 rad/s adalah 0,252 m/m dan dapat mentransmisikan sebesar 0,09 m, untuk gerakan *heave* pada frekuensi gelombang 1,16 rad/s adalah 0,024 m/m dan dapat mentransmisikan sebesar 0,075 m, dan untuk gerakan *roll* pada frekuensi gelombang yang sama adalah 0,458 deg/m dan mentransmisikan sebesar 0,32 m. Hasil tersebut merupakan variasi *draft* yang terbesar yaitu 16,4 meter pada periode gelombang 5,4 detik.

Kata Kunci : *floating breakwater*, transmisi, efektivitas, RAO.

**EFFECTIVENESS STUDIES TO REDUCE WAVES FLOATING
REAKWATER AT THE PORT OF LNG RECIPIENTS SENORO, TOILI,
LUWUK, CENTRAL SULAWESI**

Name : Dedy Ardiansyah

REG : 4307100069

**Department : Department of Ocean Engineering, Faculty of Marine Technology,
ITS**

Supervisors : Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

This thesis explores the effectiveness of the floating breakwater in reducing wave and motion analysis on the movement of sway, heave and roll. The analysis begins with finding the expected value of the transmission coefficient in the harbor, further distinguish three variations breakwater draft of floating structures that already exist, namely: 15.4 meters, 15.9 meters and 16.4 meters. The next calculation of the value of RAO on the state of sway, heave and roll. Calculations using software Ms.Office EXCELL. Subsequent analysis is to calculate the value of high waves transmitted by floating breakwater in the third movement. The analysis results obtained to sway movement in wave frequency of 1.16 rad / s is 0.252 m / m and can transmit 0,09 m, for a heave movement on the wave frequency of 1.16 rad / s is 0,024 m / m and can transmit at 0.075 m, and for the movement roll on the same wave frequency is 0.458 deg / m and transmitting of 0.32 m. The results are the largest variation draft is 16.4 meters at 5.4 second wave period.

Keywords: *floating breakwater, transmission, the effectiveness, RAO.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SIMBOL.....	ix
DAFTAR ISTILAH.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 <i>Breakwater</i>	5
2.2.2 <i>Floating breakwater</i>	6
2.2.3 Keuntungan dan Kerugian <i>Floating Breakwater</i>	8
2.2.4 Teori Gelombang linear.....	9
2.2.5 Klasifikasi Gelombang Menurut Kedalaman Relatif.....	11
2.2.6 Gelombang pecah.....	11
2.2.7 Gelombang pecah Rencana.....	12

2.2.8	Teori Gerak Struktur Apung Akibat Eksitasi Gelombang.....	13
2.2.9	<i>Response Amplitude Operators</i> (RAO).....	17
2.2.10	Interaksi Gelombang Dengan <i>Floating Breakwater</i>	17
2.2.11	<i>Single Ponton</i>	18
2.2.12	Teori Gelombang Transmisi.....	19
2.2.13	Teori Transmisi Gelombang Untuk <i>Non-Fixed Rigid Structures</i>	20
2.2.14	Analisa Dinamis <i>Floating Breakwater</i>	23
2.2.15	Pengaruh Lingkungan.....	24
2.2.16	Pengaruh Dengan Sistem Mooring.....	25
2.2.17	Pengaruh Dari Segmen <i>Floating Breakwater</i>	26
2.2.18	Perilaku Dinamis.....	26
2.2.19	<i>Hydrodynamic Damping Coefficient</i>	27
2.2.20	Analisa Olah Gerak <i>Floating Breakwater</i>	28
2.2.21	<i>Sway</i>	29
2.2.22	<i>Heave</i>	30
2.2.23	<i>Roll</i>	31
2.2.24	<i>Underflow</i>	32
2.2.25	Gaya Gelombang	33
2.2.26	Gaya Arus	34
BAB III METODOLOGI.....		36
3.1	Metodologi Penelitian.....	36
3.2	Prosedur Penelitian.....	37
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		38
4.1	Analisa Data.....	38
4.2	Pembahasan.....	39
4.2.1	Perhitungan Koefisien Transmisi yang Diharapkan di Pelabuhan.....	39
4.2.2	Perhitungan RAO(<i>Response Amplitude Operators</i>) <i>sway, heave, roll</i>	40
4.2.3	Perhitungan RAO <i>heave</i>	40

4.2.4	Perhitungan RAO <i>Sway</i>	44
4.2.5	Perhitungan RAO <i>Roll</i>	49
4.2.6	Perhitungan Tinggi Gelombang Transmisi Pada Saat Gerak <i>Heave</i>	59
4.2.7	Perhitungan Tinggi Gelombang Transmisi Pada Saat Gerak <i>Sway</i>	62
4.2.8	Perhitungan Tinggi Gelombang Transmisi Pada Saat Gerak <i>Roll</i>	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		70
5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Nilai gelombang signifikan pada pelabuhan	1
Tabel 2.1 Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linier (Airy)	11
Tabel 4.1 Nilai gelombang signifikan pada pelabuhan	38
Tabel 4.2 Hasil dimensi <i>floating breakwater</i> dengan variasi draft 16,4 meter	39
Tabel 4.3 Hasil dimensi <i>floating breakwater</i> dengan variasi draft 15,9 meter.....	39
Tabel 4.4 Hasil dimensi <i>floating breakwater</i> dengan variasi draft 15,4 meter.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa definisi gelombang	10
Gambar 2.2 Tinggi Gelombang pecah rencana di kaki bangunan.....	13
Gambar 2.3 Derajat kebebasan gerak struktur apung.....	14
Gambar 2.4 Matriks titik berat terletak pada koordinat $(0,0,Z_c)$	15
Gambar 2.5 Matriks koefisien <i>added mass</i> dan <i>damping</i>	15
Gambar 2.6 Interaksi antara gelombang dan <i>floating breakwater</i>	18
Gambar 2.7 Ponton atau <i>breakwater</i> ketika miring.....	19
Gambar 2.8 Interaksi antara <i>floating breakwater</i> dengan gelombang.....	19
Gambar 2.9 <i>Added mass</i> untuk ponton.....	21
Gambar 2.10 Grafik transmisi gelombang berdasarkan L_w/B	23
Gambar 2.11 Struktur dan faktor pengaruh hidrodinamiknya.....	24
Gambar 2.12 Pengaruh dengan <i>system mooring</i> dan pasang surut.....	25
Gambar 2.13 Derajat kebebasan dari floating bodi tiga dimensi	26
Gambar 2.14 Grafik antara <i>damping coefficient</i> dengan gerak <i>heave</i>	27
Gambar 2.15 Grafik antara <i>damping coefficient</i> dengan gerak <i>sway</i>	28
Gambar 2.16 Sistem Hidrodinamis gerakan <i>sway</i>	29
Gambar 2.17 Sistem Hidrodinamis gerakan <i>heave</i>	30
Gambar 2.18 Sistem Hidrodinamis gerakan <i>roll</i>	31
Gambar 2.19 Sistem Hidrodinamis gerakan <i>Underflow</i>	32
Gambar 2.20 Keofisien massa virtual untuk sudut 45 derajat.....	34
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	36
Gambar 4.1 Permasalahan yang dihadapi terkait pembangunan <i>jetty</i> di Senoro Field	38

DAFTAR ISTILAH

<i>Surge</i>	= Gerakan translasi pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. X.
<i>Sway</i>	= Gerakan translasi pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. Y.
<i>Heave</i>	= Gerakan translasi pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. Z.
<i>Roll</i>	= Gerakan osilasi rotasional pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. X.
<i>Pitch</i>	= Gerakan osilasi rotasional pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. Y.
<i>Yaw</i>	= Gerakan osilasi rotasional pada bangunan apung dengan arah gerakan pada sb. Z.
RAO	= <i>Respon Amplitude Operator</i> merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi tertentu.
Spektra Respon	= Respon densiti pada struktur akibat gelombang berupa <i>energy density spectrum</i> .
<i>Draft</i>	= Tinggi sarat air pada <i>floating reackwater</i> .
<i>Jetty</i>	= Sebuah pintu masuk yang berada pada area di atas perairan yang telah terencana akan keselamatan nya dari gelombang ombak/ goyangan air yang berfungsi untuk sandaran/pelabuhan kapal.
<i>Floating reackwater</i>	= Pemecah gelombang terapung.
<i>Rectangular</i>	= Persegi panjang
<i>Overtopping</i>	= Kondisi air melimpasi <i>floating breakwater</i>
<i>Added mass</i>	= Massa tambah struktur

<i>Breakwater</i>	= Bangunan pemecah gelombang
<i>Concrete block breakwater</i>	= <i>Breakwater</i> yang tersusun dari beberapa beton <i>concrete</i>
<i>Sheetpile</i>	= Pemecah gelombang yang terdiri dari turap beton dan tiang beton yang dipancang melalui tanah lunak sampai mencapai tanah keras.
<i>Mooring</i>	= Tali tambat yang berguna untuk menjaga kestabilan pada struktur terapung.
<i>Ponton</i>	= Suatu jenis kapal yang dengan lambung datar atau suatu kotak besar yang mengapung.
<i>Nonviscous</i>	= Air yang tidak mempunyai kekentalan.
<i>Impermeable</i>	= Perariran yang kedap.
<i>Hydrostatic</i>	= Gaya-gaya dan karakteristik hidrostatik.
<i>Diffraction</i>	= Penyebaran/pembelokkan arah gelombang.
<i>Buoyancy</i>	= Daya apung dari cairan/fluida.
<i>Metacenter</i>	= Titik perpotongan dari garis tegak lurus normal ke kemiringan tertentu tanpa perubahan <i>displacement</i> , dimana titik perpotongan itu mengikuti garis <i>Center of Buoyancy</i> yang sejajar dengan potongan memanjang dan melintang pada struktur apung.
<i>Center of gravity</i>	= Titik dimana yang diasumsikan sebagai pusat beban dari struktur apung.
<i>Displacement</i>	= Berat air yang dipindahkan oleh struktur apung.
<i>Rubblemound</i>	= Pemecah gelombang dengan struktur batu atau beton yang tertancap di dasar laut.
<i>Transmissions coefficient</i>	= Koefisien transmisi.

DAFTAR SIMBOL

Φ_a	: Percepatan Tangensial (m/s^2)
d	: jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
$\eta(x,t)$: fluktuasi muka air terhadap muka air diam $= \eta = a \cos(kx - \sigma t)$
a	: amplitudo gelombang
H	: tinggi gelombang $= 2 a$
L	: panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan
T	: Periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya
C	: Kecepatan rambat gelombang $= L/T$
k	: angka gelombang $= 2 \pi / L$
σ	: frekuensi gelombang $= 2\pi / T$
g	: gravitasi $= 9,81 \text{ m/d}^2$
H_b	: tinggi gelombang pecah
H'_o	: tinggi gelombang laut dalam ekivalen
L_o	: panjang gelombang di laut dalam
db	: kedalaman air pada saat gelombang pecah
g	: percepatan gravitasi
HD	: Tinggi gelombang rencana
H_b	: Tinggi gelombang pecah
β	: db / H_b
ds	: kedalaman air di kaki bangunan
m	: kemiringan dasar pantai
M_{jk}	: komponen matriks massa struktur apung
A_{jk}, B_{jk}	: matriks koefisien massa tambah dan redaman
C_{jk}	: koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembali

F_j : amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks
 ϕI : potensial kecepatan dari gelombang insiden
 ϕD : difraksi sebagai akibat mode gerakan ke j
 $X(\omega)$: amplitudo struktur
 $\eta(\omega)$: amplitudo gelombang
 S : *spektrum respons* (mRS²-sec)
 $S(\omega)$: *spektrum* gelombang (m²-sec)
 $RAO(\omega)$: *transfer function*
 ω : frekuensi gelombang (rad/sec)
 k_m : Kekakuan pegas dari sistem *mooring* (kg/s)
 L_w : Panjang dari elemen *floating breakwater* (m)
 T_1 : Sarat bagian yang terapung dari *breakwater* (m)
 T_2 : Sarat dari bagian layar dibawah *breakwater* (m)
 Y_w : Lebar bagian terapung dari *breakwater* (m)
 C_a : Amplitudo gelombang datang (m)
 C_R : Amplitudo gelombang pantul kearah laut (m)
 C_T : Amplitudo gelombang transmisi kearah pelabuhan (m)
 a_{44} : *Added momen inersia untuk roll*
 b_{nn} : hidrodinamis redaman arah ke nn
 c_{nn} : Kekakuan pegas ke arah nn
 d_m : Redaman mooring system
 k : Angka gelombang
 m : Massa total dimensi *floating breakwater*
 y_b : Horizontal *lever arm*
 y : *Displacement* arah y
 z_b : Vertikal *lever arm*
 z : *Displacement* arah z
 C_3 : Distribusi tekanan arah vertical
 F_y : Gaya gelombang arah vertical
 I_{xx} : Massa momen inersia titik G

L_w	: Panjang dimensi <i>floating breakwater</i>
\overline{OG}	: Jarak dari pusat gravitasi ke water line
T_1	: Draft of the <i>floating section</i> of the <i>breakwater</i>
T_2	: Draft of the <i>screen underneath floating section of the breakwater</i>
$\varepsilon_{n\zeta}$: <i>Motion</i> related <i>phase angle</i>
ϕ	: Arah rotasi
ζ_a	: Amplitudo gelombang datang
ω_n	: Periode natural
λ	: Panjang gelombang

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelabuhan penerima LNG Senoro, Luwuk, Sulawesi Tengah merupakan salah satu pelabuhan yang padat karena banyaknya aktifitas bongkar muat kapal. PT. Pertamina dan PT. Medco melakukan kerjasama untuk eksplorasi gas alam. Proses pengambilan dan distribusi gas alam di daerah itu menggunakan pelabuhan Senoro sehingga dengan mudah menyalurkan gas alam ke daerah yang lain. Pelabuhan Senoro ini mempunyai sebuah *jetty* berguna untuk melakukan aktifitas distribusi gas.

Menurut survey yang telah dilakukan oleh PT.Surveyor Indonesia pada ujung *jetty* pelabuhan Senoro menunjukkan ketinggian gelombang signifikan sampai 2,7m (tabel 1.1). Ketinggian gelombang ini belum bisa memenuhi persyaratan berlabuh untuk kapal 50.000 – 115.000 DWT, karena kapal tidak bisa stabil dalam melakukan aktifitasnya. Persyaratan berlabuh untuk kapal berukuran lebih besar dari 50.000DWT adalah ketinggian gelombang pada pelabuhan antara 0,7-1,5 m (MLIT, 2009). Kedalaman perairan di depan *jetty* berkisar antara 20-30m. Dengan kedalaman laut seperti ini diperlukan pembangunan struktur *floating breakwater* untuk mengurangi ketinggian gelombang dan mengatasi masalah kedalaman laut pada studi kasus pelabuhan LNG di Senoro, Luwuk, Sulawesi Tengah.

Tabel 1.1 : Nilai gelombang signifikan pada pelabuhan

Return Period Year	Maximum Significant Wave Height and Period coming from					
	East		South		South West	
	Hs (m)	Ts (sec)	Hs (m)	Ts (sec)	Hs (m)	Ts (sec)
2	1.0	3.45	1.5	3.90	0.60	4.01
5	1.4	3.87	1.9	4.27	1.13	5.16
10	1.7	4.15	2.1	4.51	1.49	5.92
20	2.0	4.42	2.4	4.74	1.83	6.64
30	2.1	4.60	2.5	4.90	2.05	7.14
50	2.3	4.76	2.7	5.04	2.26	7.59

(Sumber : PT.Surveyor Indonesia, 2014)

Kedalaman perairan di depan *jetty* berkisar antara 20-30m. *Breakwater* konvensional atau tipe *rubble mound* tidak akan efektif jika dibangun pada kedalaman diatas 15m.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan masalah yang akan dibahas di studi ini adalah:

1. Berapa nilai koefisien transmisi yang diharapkan di pelabuhan
2. Berapa nilai RAO *floating breakwater* dengan 3 variasi *draft*
3. Berapa nilai transmisi *floating breakwater* dengan 3 variasi *draft*

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai di studi ini adalah:

1. Mencari nilai koefisien transmisi yang diharapkan di pelabuhan
2. Mencari nilai RAO *floating breakwater* dari 3 variasi *draft*
3. Mencari nilai transmisi *floating breakwater* dari 3 variasi *draft*

1.4 Manfaat

Manfaat yang didapat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui nilai koefisien transmisi yang diharapkan di pelabuhan
2. Mengetahui nilai RAO *floating breakwater* dari 3 variasi *draft*
3. Mengetahui nilai transmisi *floating breakwater* dari 3 variasi *draft*

1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pembahasan yang melebar sehingga dilakukan asumsi sebagai berikut:

1. Jenis pemecah gelombang yang dipilih adalah jenis single ponton dengan bentuk *rectangular*.
2. Menggunakan desain yang sudah ada.
3. Perhitungan RAO 3 variasi *draft*, yaitu : 15,4 m, 15,9m ,16,4 m
4. Perhitungan RAO 3 gerakan struktur, yaitu : *sway*, *heave*, dan *roll*
5. Interaksi konektivitas antar *floating breakwater* diabaikan.
6. Gelombang yang digunakan reguler
7. Tinggi kedalaman perairan konstan
8. Gaya angin dan gaya akibat *anchor* diabaikan.

9. Beban arus dan beban massa jenis *mooring* diabaikan.
10. Efektifitas *floating breakwater* dapat diketahui melalui tinggi gelombang yang ditransmisikan.
11. Pada penelitian ini tidak dilakukan analisa kekuatan struktur *Floating Breakwater*.

1.6 Sistematika Penulisan

1. Bab I Pendahuluan

Pada bab satu berupa pendahuluan yang menjelaskan latar belakang dilakukannya pembangunan *floating breakwater*. Selain itu juga dibahas mengenai perumusan masalah, tujuan, dan manfaat dari penelitian. Selain itu akan dibahas batasan-batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini agar pembahasan masalahnya tidak terlalu luas.

2. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Pada bab kedua berupa tinjauan pustaka dan dasar teori yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada. Bagian ini berisi dasar teori yang digunakan sebagai landasan penyelesaian tugas akhir ini dan juga berisikan rumus-rumus serta variabel yang dipakai.

3. Bab III Metode Penelitian

Pada bab ketiga menjelaskan tentang langkah-langkah secara terperinci dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

4. Bab IV Analisis dan Pembahasan

Pada bab keempat menjelaskan tentang semua hasil analisa dari penelitian ini. Pada bab ini juga dibahas tentang hasil pengolahan data yang nantinya akan menjawab tujuan dilakukannya penelitian ini.

5. Bab V Penutup

Pada bab kelima berisi semua jawaban dari perumusan masalah dan menjawab tujuan dilakukannya penelitian ini, serta saran untuk peneliti selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Bangunan pemecah gelombang adalah cara untuk mengatasi masalah abrasi di wilayah pesisir dan sebagai pelindung pelabuhan dari serangan gelombang. Salah satu bangunan pemecah gelombang tersebut adalah *breakwater*. *Breakwater* muncul sebagai salah satu bentuk solusi yang efektif untuk menjawab permasalahan-permasalahan yang timbul selama ini di wilayah pesisir. Bangunan pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai (Triatmodjo,1999). Pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang. Perlindungan oleh pemecah gelombang lepas pantai terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di perairan di belakang bangunan. Berkurangnya energi gelombang di daerah terlindungi akan mengurangi transport sedimen di daerah tersebut. Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), sebagian diteruskan (transmisi) dan sebagian dihancurkan (dissipasi) melalui pecahnya gelombang, kekentalan fluida, gesekan dasar dan lain-lainnya. Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan, dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, kedalaman air), tipe bangunan peredam gelombang dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan). Menurut Wang, C.H (1988), tujuan dari pemecah gelombang adalah untuk mengurangi aktivitas gelombang di daerah terlindung, bertindak sebagai penghalang pesisir, memberikan perlindungan pantai, atau menyediakan kombinasinya. Biasanya, semakin tinggi pemecah gelombang, semakin baik kualitas daya redaman gelombangnya.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. *Breakwater*

Breakwater adalah bangunan pantai yang berfungsi sebagai peredam gelombang yang datang. Tujuannya untuk memberikan perlindungan terhadap kerusakan wilayah pantai yang berada dibelakangnya. Bangunan ini memisahkan daerah perairan dari laut bebas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar di laut. Daerah perairan dihubungkan dengan laut oleh mulut pelabuhan dengan lebar tertentu, dan kapal dapat keluar masuk pelabuhan melalui celah tersebut. Dengan adanya *breakwater* ini daerah perairan pelabuhan menjadi tenang dan kapal bisa melakukan bongkar muat barang dengan mudah. Dalam merencanakan *breakwater*, air yang melimpas (*overtopping*) juga menjadi bahan pertimbangan, karena struktur yang tak mengijinkan *overtopping* biaya konstruksinya terlalu mahal karena akan menambah material untuk membuat struktur semakin tinggi akan tetapi bila ada toleransi air masuk bisa mengakibatkan terganggunya perairan di pelabuhan dan juga mengakibatkan terjadi resonansi di dalam area pelabuhan, serta terbentuknya tombolo. Stabilitas dari *breakwater* juga dipertimbangkan supaya tidak terjadi kegagalan struktur atau rusak sebelum dan pada saat operasi. *Breakwater* dapat digolongkan dalam beberapa type, yaitu :

1. *Sloping Breakwater*

Sloping breakwater adalah konstruksi *breakwater* yang dibuat dengan kemiringan/*slope* tertentu yang terdiri dari tumpukan batu/beton dimana stabilitas tumpukan bergantung pada kemiringan tumpukannya. Type *sloping breakwater* ini dapat digolongkan lagi berdasarkan bahan konstruksinya, yaitu :

a. *Rouble mound breakwater*

b. *Concrete block breakwater*

2. *Composite breakwater*

Breakwater di susun dari kombinasi beberapa macam bahan yang merupakan suatu kesatuan konstruksi. Konstruksi tipe ini bisa merupakan gabungan antara beton (tipe *caisson*) dengan bahan pasir sebagai pengisi digabungkan menjadi tipe *rouble muond*, juga bisa type *sheetpile* dengan pengisi seperti pasir atau batu.

3. *Breakwater* type khusus

Pada type ini *breakwater* didesain khusus tergantung kondisi lingkungan yang ada, seperti *floating breakwater*, *concrete block* yang diletakkan diatas *pile*, dan sebagainya.

2.2.2. *Floating Breakwater*

Floating breakwater adalah bangunan pemecah gelombang terapung yang ditambatkan ke dasar laut dengan menggunakan kabel atau rantai. Sebuah *breakwater* terapung yang ditambat harus benar-benar dirancang dalam rangka untuk memastikan pengurangan efektif energi yang di transmisikan oleh energi gelombang dan *mooring* yang digunakan harus dapat menjaga struktur ini tetap berada pada posisi mengingat karena *floating breakwater* merupakan struktur terapung yang rentan berpindah posisi. Penggunaan *floating breakwater* dengan sistem *mooring* harus memperhatikan beberapa aspek yang penting diantaranya tidak adanya kegagalan pada tali *mooring* dan tidak adanya kegagalan pada *floaters* itu sendiri dan interkoneksi antara *mooring* dan *floaters*. Jenis-jenis pemecah gelombang terapung yaitu : *box*, *pontoon*, *mat* dan *tethered float*, namun jenis yang paling umum digunakan adalah ponton persegi. Pemecah gelombang terapung (*Floating Breakwater*) hadir sebagai solusi alternatif yang dapat digunakan secara efektif pada gelombang yang besar, kondisi tanah dan lingkungan yang kurang baik, kedalaman laut yang cukup dalam, fenomena erosi serta pertimbangan estetika di perairan. Konstruksi *floating breakwater* biasanya dipasang sejajar atau tegak lurus pantai untuk menjaga kondisi yang tetap stabil di pelabuhan. Sebagian besar konstruksi *floating breakwater* tergantung pada pendekatan gelombang dan mempertimbangkan beberapa parameter lingkungan lainnya. Hubungan *draft* dan lebar adalah faktor yang

paling penting yang menentukan kinerja *floating breakwater* (Fousert, 2006). Menurut PIANC (1994), *floating breakwater* dapat dibagi secara skematis menjadi dua, yaitu :

1. *Reflective structures*

Berfungsi merefleksikan gelombang yang terjadi, sehingga energi gelombang yang melewati *floating breakwater* menjadi kecil.

2. *Dissipative structure*

Dimana besarnya energi gelombang yang terjadi dihancurkan dengan gesekan, turbulensi, dan lain-lain.

Sedangkan menurut (Morey 1998), klasifikasi *floating breakwater* terbagi menjadi :

1. Refleksi

Refleksi pada pemecah gelombang memanfaatkan permukaan vertikal ataupun permukaan miring pada struktur untuk merefleksikan energi gelombang datang yang akan dipantulkan kembali ke laut. Efisiensi merupakan hal paling sensitif terhadap peristiwa tinggi dan periode gelombang, kedalaman dan sudut permukaan yang direfleksikan dan stabilitas struktur secara keseluruhan.

2. Transformasi

Transformasi pemecah gelombang merubah peristiwa energi gelombang melalui respon gerak menjadi sederetan gelombang sekunder dari berbagai ketinggian dan periode. Efisiensi tertinggi terjadi pada saat pancaran sederetan gelombang sekunder keluar dari fase yang menyertai gelombang. Redaman dipengaruhi oleh massa, periode alami gerak, dan lebar struktur untuk panjang gelombang (WCHL, 1981). Derajat pembatasan yang diberikan oleh sistem penahan tidak sekrusial untuk menunjukkan kinerja seperti pemecah gelombang reflektif (EDCL, 1991). Konsep dikelompokkan dalam metode redaman ini termasuk rakit *Caissons* dan *Log / bundel*.

3. *Dissipative*

Pemecah gelombang disipatif merubah energi gelombang menjadi panas, suara, turbulensi maupun gesekan dengan memecah gelombang pada permukaan miring maupun berlawanan dengan member struktural. Efisiensi diatur terutama melalui geometri dan kekangan mooring (WCHL, 1981). Hal ini telah digunakan terbatas dalam meredam gelombang dengan bermacam-macam tinggi signifikan tetapi telah digunakan secara ekstensif dalam meredam angin hasil perambatan (EDCL, 1991). Sistem yang termasuk dalam klasifikasi ini adalah *scrap tires*, *Tethered Float*, *Fleksibel Membran*, dan *Turbulensi Generator*.

4. *Hybrid*

Ketiga mekanisme redaman gelombang (refleksi, transformasi, dan disipasi) adalah untuk penyatuan beberapa derajat ke dalam setiap *floating breakwater*. Beberapa sistem sangat bergantung pada kombinasi ini. Pemecah gelombang ini adalah hibrida, menerapkan mekanisme peredaman gelombang secara bersamaan dan / maupun secara berturut-turut untuk menjadi efektif. Sistem *floating breakwater* yang paling umum digunakan dalam sistem *hybrid* termasuk *Sloping Float*, *Screen Reflector*, dan *Centerboard caisson*.

2.2.3. Keuntungan dan Kerugian *Floating Breakwater*

Suatu desain penahan gelombang akan memiliki dampak keuntungan dan kerugian yang diakibatkan, walaupun banyak penelitian menyatakan *floating breakwater* memiliki banyak segi positif, namun *floating breakwater* juga memiliki kekurangan ataupun kerugian yang juga harus dipertimbangkan. Keuntungan *floating breakwater* diantaranya adalah:

1. *Floating breakwater* lebih murah dibandingkan dengan *fixed breakwater* untuk laut dalam
2. *Floating breakwater* bisa lebih layak dalam kondisi tanah yang buruk dari *fixed breakwater*

3. *Floating breakwater* dapat mereduksi gelombang yang tinggi (kurang dari 6.5 ft)
4. *Floating breakwater* dapat dengan mudah dipindahkan dan dimodifikasi, dapat digunakan kembali serta transportasi dan fleksibilitas yang efektif dalam desain
5. Jika formasi es menimbulkan masalah, *floating brakwater* dapat dipindahkan dari lokasi
6. *Floating breakwater* dapat memiliki nilai estetika dibandingkan *fixed breakwater*

Kerugian dari penggunaan *floating breakwater* antara lain:

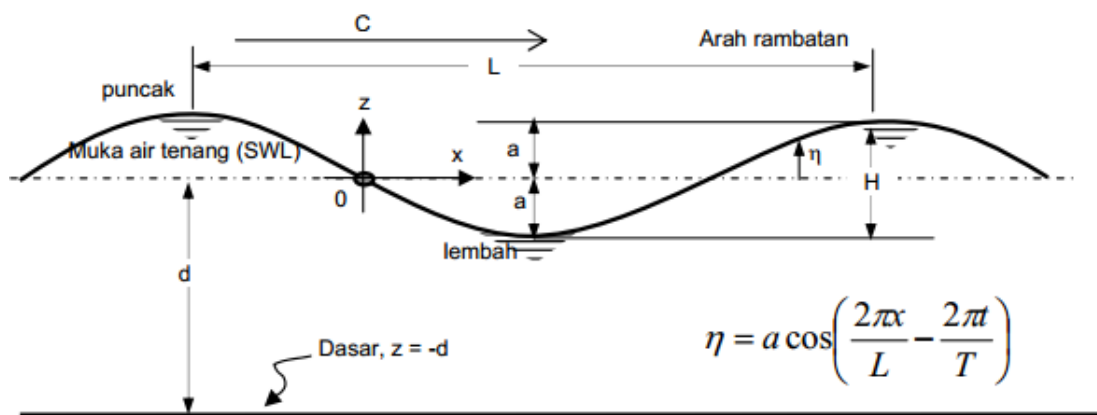
1. *Floating breakwater* memiliki keterbatasan dalam meredam gelombang tinggi dengan rentang frekuensi yang terbatas.
2. *Floating breakwater* tidak terlalu efektif dalam mengurangi tinggi gelombang untuk gelombang kecil dibandingkan *fixed breakwater*
3. *Floating breakwater* mudah mengalami kegagalan struktural selama mengalami kondisi badai
4. Jika strukturnya gagal dan dalam keadaan masih terikat dengan mooringnya, maka *floating breakwater* mungkin akan menimbulkan suatu bahaya
5. Jika dibandingkan dengan *breakwater* pada umumnya, *floating breakwater* lebih membutuhkan biaya pemeliharaan yang besar.

2.2.4 Teori Gelombang Linear

Teori gelombang linear atau teori Airy (*Small amplitude theory, first-order theory*) dikembangkan oleh Airy (1845) dan Laplace (1816). Teori gelombang linear merupakan teori klasik yang penting dan juga mudah digunakan. Teori ini merupakan dasar dari deskripsi spektral probabilitas dari gelombang.

Beberapa asumsi pada teori linear adalah:

1. Amplitudo (a) sangat kecil dibandingkan dengan panjang gelombang (λ) dan kedalaman air (d).
2. *Nonviscous* dan irrotational.
3. *Incompressible* dan *nonstratified* (homogeny).
4. Gaya koriolis akibat rotasi bumi diabaikan.
5. Tegangan tarik dipermukaan diabaikan.
6. Permukaan dasar laut halus dan *impermeable*.
7. Level tekanan atmosfer laut (P_0) seragam.



Gambar (2.1) Gambar sketsa definisi gelombang
(sumber: www.google.com)

Gambar (2.1). menunjukkan suatu gelombang yang berada pada system koordinat (x - y). Gelombang menjalar pada sumbu (x). Hubungan cepat rambat gelombang dengan panjang gelombang dan kedalaman adalah :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.1)}$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.2)}$$

2.2.5. Klasifikasi Gelombang Menurut Kedalaman Relatif

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang (L), (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam dapat dilihat pada Tabel (2.1). yaitu :

Tabel (2.1). Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linier (Airy)

Keterangan	Gelombang dilaut dangkal	Gelombang di laut transisi	Gelombang di laut dalam
d/L	$d/L \geq 1/2$	$1/20 < d/L < 1/2$	$d/L \leq 1/20$
Tanh ($2\pi d/L$)	$\approx 2\pi d / L$	Tanh ($2\pi d/L$)	≈ 1
Cepat rambat gelombang	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$C = C_o = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Panjang Gelombang	$L = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$L = L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56T^2$

Sumber : (Nur Yuwono,1982)

2.2.6 Gelombang Pecah

Dari persamaan transformasi gelombang pada kedalaman kecil ($d \approx 0$) akan diperoleh tinggi gelombang yang sangat tinggi. Hal ini tidak mungkin terjadi, karena kenyataannya di tepi pantai dengan kedalaman ($d \approx 0$), tinggi gelombang ($H \approx 0$). Fenomena ini disebabkan karena gelombang yang bergerak ke pantai, pada kedalaman tertentu akan mengalami proses pemecahan gelombang (*breaking wave*). Kedalaman dimana gelombang pecah terjadi diberi notasi (d_b) dan tinggi gelombang pecah diberi notasi (H_b).

Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\frac{H_b}{H'_o} = \frac{1}{3,3(H'_o / L_o)^{1/3}} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.3)}$$

Kedalaman air dimana gelombang pecah diberikan oleh persamaan berikut :

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b / gT^2)} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.4)}$$

Dimana (a) dan (b) merupakan fungsi kemiringan pantai (m) dan diberikan oleh persamaan berikut :

$$a = 43,75 (1 - e^{-19m}) \dots\dots\dots \text{persamaan (2.5)}$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.6)}$$

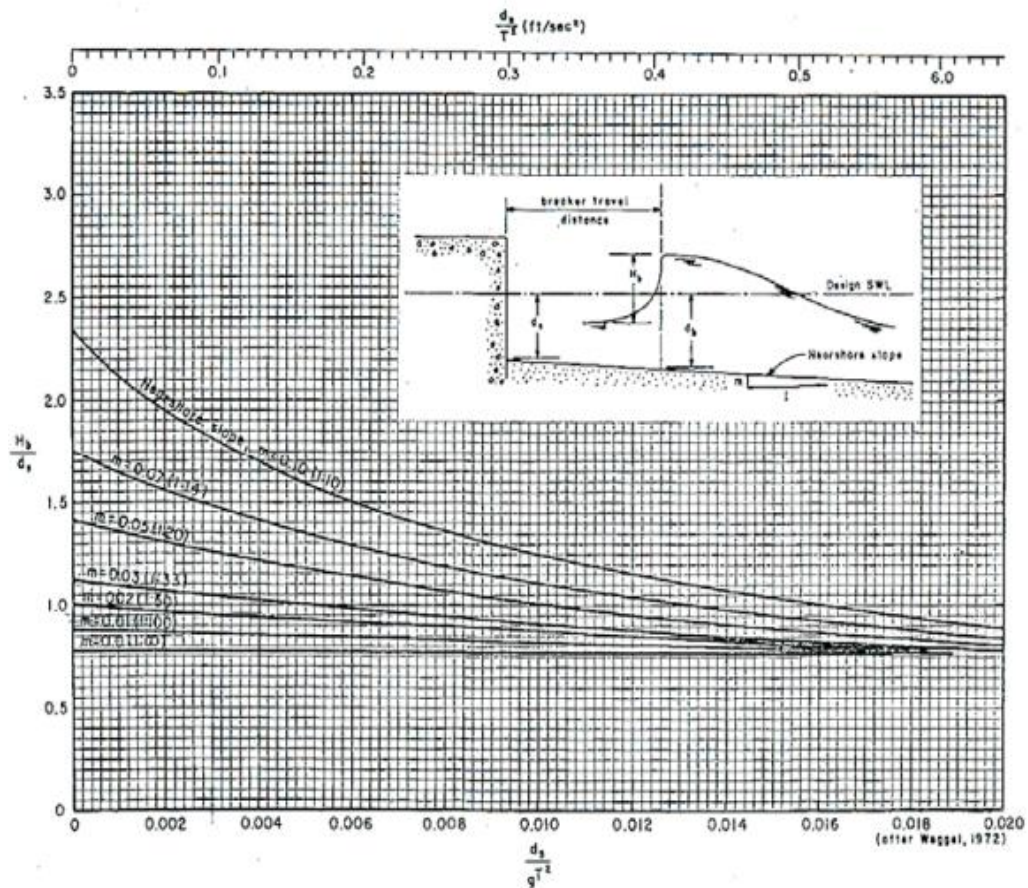
Dengan mengambil berbagai harga (db) maka dapat menentukan harga (H_b) dengan cara asumsi. Harga (db) dan (H_b) digambarkan dalam grafik. Perpotongan antara grafik (H) = (K_s), (K_r), dan (H_o) dan grafik (H_b) merupakan lokasi gelombang pecah.

2.2.7 Gelombang Pecah Rencana

Tinggi gelombang pecah rencana (H_D) merupakan tinggi gelombang pecah pada suatu jarak di depan kaki bangunan dimana gelombang pertama kali mulai pecah. Tinggi gelombang pecah rencana bergantung pada kedalaman air depan kaki bangunan, kemiringan dasar pantai dan jarak penjalaran gelombang pecah. Cara perhitungannya adalah :

$$H_D = H_b = \frac{d}{\beta - m \tau_p} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.7)}$$

Nilai (β) tidak dapat langsung digunakan sebelum nilai (H_b) diperoleh. Untuk menghitung nilai (H_b) telah disediakan pada gambar (2.2) di bawah. Apabila kedalaman rencana maksimum pada bangunan dan periode gelombang datang diketahui, maka dapat dihitung tinggi gelombang pecah rencana.



Gambar 2.2. Tinggi gelombang pecah rencana di kaki bangunan

2.2.8 Teori Gerak Struktur Apung Akibat Eksitasi Gelombang

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut :

1. Mode gerak translasional

Surge, gerakan transversal arah sumbu (x)

Sway, gerakan transversal arah sumbu (y)

Heave, gerakan transversal arah sumbu (z)

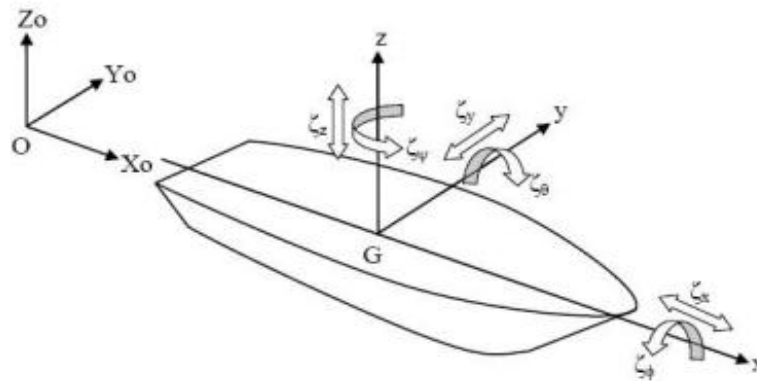
2. Mode gerak rotasional

Roll, gerakan rotasional arah sumbu (x)

Pitch, gerakan rotasional arah sumbu (y)

Yaw, gerakan rotasional arah sumbu (z)

Definisi gerakan struktur apung dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan dengan gambar (2.3). Dengan memakai konversi sumbu kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu (x),(y) dan (z), adalah masing-masing *surge* (ζ_1), *sway* (ζ_2) dan *heave* (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* (ζ_4), *pitch* (ζ_5) dan *yaw* (ζ_6).



Gambar (2. 3) Gambar derajat kebebasan gerak struktur apung
(Sumber: Foustert,2006)

Dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka enam persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{n=1}^6 \left[(M_{jk} + A_{jk}) \ddot{\zeta}_k + B_{jk} \dot{\zeta}_k + C_{jk} \zeta_k \right] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \dots \dots \dots \text{persamaan (2.8)}$$

Dimana :

M_{jk} : komponen matriks massa struktur apung

A_{jk}, B_{jk} : matriks koefisien massa tambah dan redaman

C_{jk} : koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembali

F_j : amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks

(F1), (F2) dan (F3) adalah amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *surge*, *sway* dan *heave* (F4), (F5) dan (F6) adalah amplitudo momen eksitasi untuk *roll*, *pitch* dan *yaw*. Tanda titik menunjukkan turunan terhadap waktu, sehingga($\dot{\zeta}$) dan ($\ddot{\zeta}$) adalah masing-masing kecepatan dan percepatan.

Bila diasumsikan bahwa struktur apung mempunyai bentuk simetris terhadap bidang tegak (O)-(XZ) dan titik beratnya tertetak pada koordinat (0,0,Zc) maka matriks massa secara umum adalah :

$$M_{jk} = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & MZ_c & 0 \\ 0 & M & 0 & -MZ_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -MZ_c & 0 & I_4 & 0 & -I_{46} \\ MZ_c & 0 & 0 & 0 & I_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I_{46} & 0 & I_6 \end{bmatrix}$$

Gambar (2. 4) Gambar matriks titik berat tertetak pada koordinat (0,0,Zc)
(Sumber: Foustert,2006)

dimana (M) adalah massa struktur apung, (Ij) adalah momen inersia massa pada mode ke(j), dan (Ijk) adalah produk momen inersia massa. Dengan asumsi yang sama, matriks yang memuat koefisien-koefisien added mass dan damping adalah :

$$A_{jk} \text{ (atau } B_{jk} \text{)} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & A_{13} & 0 & A_{15} & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 & A_{24} & 0 & A_{26} \\ A_{31} & 0 & A_{33} & 0 & A_{35} & 0 \\ 0 & A_{42} & 0 & A_{44} & 0 & A_{46} \\ A_{51} & 0 & A_{53} & 0 & A_{55} & 0 \\ 0 & A_{62} & 0 & A_{64} & 0 & A_{66} \end{bmatrix}$$

Gambar (2. 5) Gambar matriks koefisien added mass dan damping
(Sumber: Foustert,2006)

Selanjutnya, untuk struktur apung yang terapung di permukaan bebas, koefisien-koefisien hidrostatis pengembali yang tidak sama dengan nol adalah:

$$(C33), (C44), (C55) \text{ dan } (C35) = (C53)$$

Bila matriks massa, koefisien *added mass* dan damping, dan koefisien pengembali dimasukkan ke persamaan gerak, maka untuk struktur apung yang simetris dalam arah lateral, enam persamaan gerak kopel akan dapat dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu bagian pertama adalah persamaan kopel untuk *surge*, *heave*, dan *pitch* serta bagian kedua adalah persamaan kopel untuk *sway*, *roll*, dan *yaw*. Jadi untuk struktur apung dengan bentuk simetris, tidak akan terjadi kopel antara *surge*, *heave*, dan *pitch* dengan *sway*, *roll* dan *yaw*. Prosedur komputasi untuk menyelesaikan persamaan gerak struktur apung, pertama akan dihitung besarnya gaya-gaya eksitasi. Hal ini

dapat diturunkan dengan menghitung distribusi tekanan hidrodinamik dengan persamaan Bernoulli, yaitu:

$$P = -\rho \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} |\nabla \phi|^2 + gz \right) \dots \dots \text{Persamaan (2.9)}$$

dimana potensial kecepatan (ϕ) adalah :

$$\phi(x, y, z, t) = [-U_x + \phi_s(x, y, z)] + \phi_T(x, y, z)e^{i\omega t} \dots \text{persamaan (2.10)}$$

Dalam persamaan (2.10), variabel pertama dalam ruas kanan adalah merupakan kontribusi dari, (ϕ_s) : potensial kecepatan *steady* dan (U) : kecepatan struktur apung. Sedangkan variabel kedua adalah kontribusi dari potensial kecepatan *unsteady*

$$\phi_T = \phi_I + \phi_D + \sum_{j=1}^6 h_j \phi_j \dots \text{persamaan (2.11)}$$

Dimana :

ϕ_I : potensial kecepatan dari gelombang insiden

ϕ_D : difraksi sebagai akibat mode gerakan ke (j)

ϕ_j : radiasi sebagai akibat mode gerakan ke (j)

Langkah berikutnya dalam menyelesaikan persamaan gerak adalah menentukan harga koefisien-koefisien *added mass*, *damping* dan *hydrostatic*. Dari persamaan gerak ini didapatkan hasil berupa karakteristik gerakan struktur apung. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, di mana perbandingan gerakan pada mode tertentu (ζ_j) dengan parameter tinggi (atau amplitudo gelombang, (ζ_a) diberikan sebagai fungsi frekuensi *encounter* (ω_e) dari sumber eksitasi. Informasi gerakan ini dinamakan *Response Amplitudo Operator* (RAO).

2.2.9. Response Amplitude Operators (RAO)

Respon pada struktur *offshore* (baik struktur *fixed* maupun terapung) akibat gelombang *reguler* dalam tiap-tiap frekuensi, dapat diketahui dengan menggunakan metode *spectra*. Nilai amplitudo pada suatu respon secara umum hampir sama dengan amplitudo gelombang. Bentuk normal suatu respon dari sistem linier tidak berbeda dengan bentuk amplitudo gelombang dalam fungsi frekuensi. *Response Amplitude Operator* (RAO) atau sering disebut sebagai *Transfer Function* adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur *offshore*. RAO disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi (Chakrabarty, 1987) adalah sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.12)}$$

Sedangkan amplitudo struktur (respon struktur) dapat dirumuskan :

$$x_p = \left(\frac{x_o}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta_e r)^2}} \right) \cos(\omega t - \alpha) \dots\dots\dots \text{persamaan (2.13)}$$

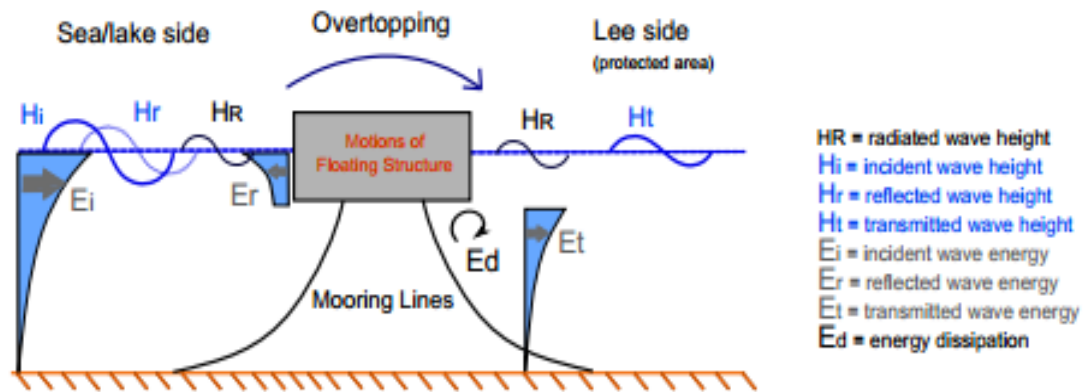
Spektrum respons didefinisikan sebagai *respons* kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. *Spektrum respons* merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots \text{persamaan (2.14)}$$

2.2.10 Interaksi Gelombang dengan *Floating Breakwater*

Sejumlah proses terjadi ketika gelombang menabrak *floating breakwater*. Pada gambar (2.6) menunjukkan proses-proses yang terjadi ketika sebuah gelombang menabrak *floating breakwater*. Gelombang dengan ketinggian gelombang (H_i) mengandung sejumlah energi (E_i). Ketika gelombang menabrak *floating breakwater*, sebagian dari energi gelombang masuk terefleksi (E_r), menyebabkan gelombang pantul (H_r). Bagian lain dari energi gelombang masuk ditransmisikan (E_t).

Gelombang yang disebabkan karena gerakan dari *floating breakwater* terpengaruh oleh radiasi dari *floating breakwater*. Aliran di bawah struktur mengakibatkan pertemuan antara gerakan struktur *breakwater* dan *diffraction* gelombang. Tergantung pada jenis sistem tambat, *breakwater* bebas untuk bergerak dengan enam derajat kebebasan. Untuk setiap gerakan dalam setiap tingkat kebebasan gelombang yang dihasilkan disebut gelombang radiasi.



Gambar (2.6) Gambar Interaksi Antara Gelombang dan *Floating Breakwater*
(Sumber :Foustert,2006)

2.2.11 *Single Ponton*

Jenis *floating breakwater single ponton* adalah salah satu bentuk pemecah gelombang apung paling sederhana dan telah diteliti oleh para peneliti secara menyeluruh dengan model numerik dan model-model fisik dalam gelombang pada flume. Efektivitas *floating breakwater* yang dijangkar dengan rantai dinyatakan dengan *metacenter* dan radius girasi. *Metacenter* adalah titik pertemuan dari garis vertikal gaya *buoyancy* pada sudut nol dari *heel* dan pada sudut *heel*, (ϕ). Posisi *metacenter* bergantung pada bentuk struktur dan *water planenya*. Ketika benda terapung membuat sebuah sudut (ϕ), posisi *metacenter* berubah. Berdasarkan sudut (ϕ), bentuk dari bagian yang tercelup juga akan berubah dan pusat *buoyancy* akan bergeser. Berikut adalah gambar dimana (B) menunjukkan *center of buoyancy*, (G) *center of gravity* dan (M ϕ) menunjukkan *metacenter* berdasarkan sudut(ϕ).

Gambar (2.8) Interaksi antara *floating breakwater* dengan gelombang
(Sumber :Foustert,2006)

Untuk gelombang panjang dengan tinggi gelombang yang cukup besar maka struktur *breakwater* harus memiliki ukuran *draft* yang besar untuk memblokir sebagian besar energi gelombang. *Draft* yang besar juga menunjukkan besar tambat gaya pada struktur. Hal ini memerlukan optimasi antara *draft* dan gelombang redaman untuk mendapatkan desain ekonomis. Secara umum, untuk semua jenis umum *floating breakwater*, efektivitas ditentukan oleh koefisien transmisi. Koefisien-koefisien ini didefinisikan sebagai ketinggian gelombang yang ditransmisikan atas insiden ketinggian gelombang:

$$C_t = \frac{H_t}{H_i} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.15})$$

Dalam hal ini sebagian besar gelombang *reguler* dan persamaan (2.15) akan digunakan untuk menentukan koefisien gelombang transmisi. Dalam kasus gelombang *irregular*, ketinggian gelombang signifikan ($H_{s,i}$) dan transmisi gelombang ($H_{s,t}$) akan digunakan pada persamaan (2.15). Tinggi gelombang signifikan adalah rata-rata dari tertinggi sepertiga dari gelombang dalam suatu rekam gelombang. Gelombang yang terjadi diasumsikan berupa gelombang *reguler*.

(H_t) = transmisi gelombang yang diharapkan. (m)

(H_i) = gelombang datang yang menabrak *breakwater* (m)

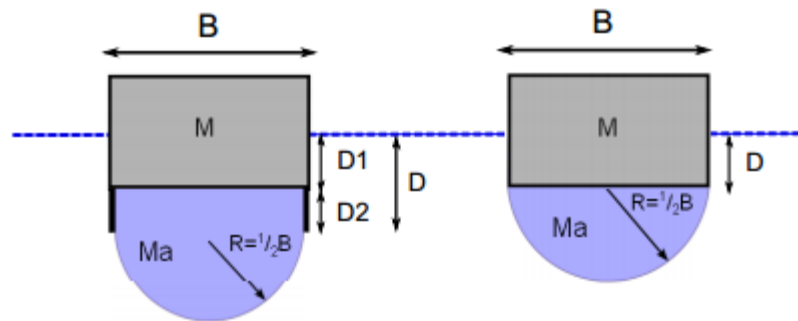
2.2.13 Teori Transmisi Gelombang Untuk *Non-Fixed Rigid Structures*

Karena *floating breakwater* tetap bebas dan dapat bergerak, itu akan lebih baik untuk menerapkan persamaan yang telah dikembangkan oleh Ruol et al (2012). Dalam hal ini Ruol (2012) mengembangkan faktor modifikasi pada formula Macagno untuk perkiraan koefisien transmisi gelombang dari *floating breakwater* yang ditambat oleh rantai atau kabel. Formula Ruol et al(2012) adalah fungsi dari periode relatif (X), yang didefinisikan sebagai periode puncak gelombang selama periode *heave* alami (T_p/T_h). Formula ini awalnya dikembangkan untuk jenis *floating breakwater PI* yang

ditambat oleh rantai. Berdasarkan dari percobaan yang dilakukan, disimpulkan bahwa formula *floating breakwater PI* ini juga berlaku untuk jenis *floating breakwater* ponton biasa dengan rantai. Selanjutnya, rumus ini berlaku untuk relatif *draft* (D/d) berkisar antara 0,20 dan 0,60 dan untuk jangka waktu relatif ($T_p/T_h=x$) antara 0,50 dan 1,50. Faktor modifikasi ini didasarkan pada data set eksperimental data dan fungsi dari periode relatif. Periode alami untuk gerakan *heave* struktur mengambang sulit diperoleh tanpa melakukan eksperimen. Hal ini karena adanya *added mass* yang harus diperhitungkan. *Added mass* dapat dilihat sebagai tambahan massa yang mewakili massa cairan yang dipercepat ketika struktur mempercepat. Oleh karena itu, *added mass* ini harus diperhitungkan. Frekuensi alami *heave* ketika mengabaikan damping dapat digambarkan sebagai :

$$\omega_h = \sqrt{\frac{K}{M_{total}}} = \sqrt{\frac{K}{M + M_a}} = \sqrt{\frac{\rho_w g B}{M + M_a}} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2.16)}$$

Untuk gerak *heave* *added mass* dapat diasumsikan sebagai volume air di bawah struktur yang terapung, dimana batas volume digambarkan oleh bentuk setengah lingkaran dengan jari-jari yang sama dengan setengah lebar struktur. Grafis ini ditampilkan dalam gambar di bawah. Karena *added mass* dapat diperkirakan, dapat dikatakan bahwa frekuensi alami *heave* dapat digambarkan oleh persamaan berikut :



Gambar (2.9) Gambar *added mass* untuk ponton
(Sumber :Foustert,2006)

$$\omega_h = \sqrt{\frac{\rho_w g B}{\rho_w B D + \rho_w \frac{\pi}{8} B^2}} = \sqrt{\frac{g}{D + \frac{\pi}{8} B}} \dots\dots\dots \text{persamaan(2.17)}$$

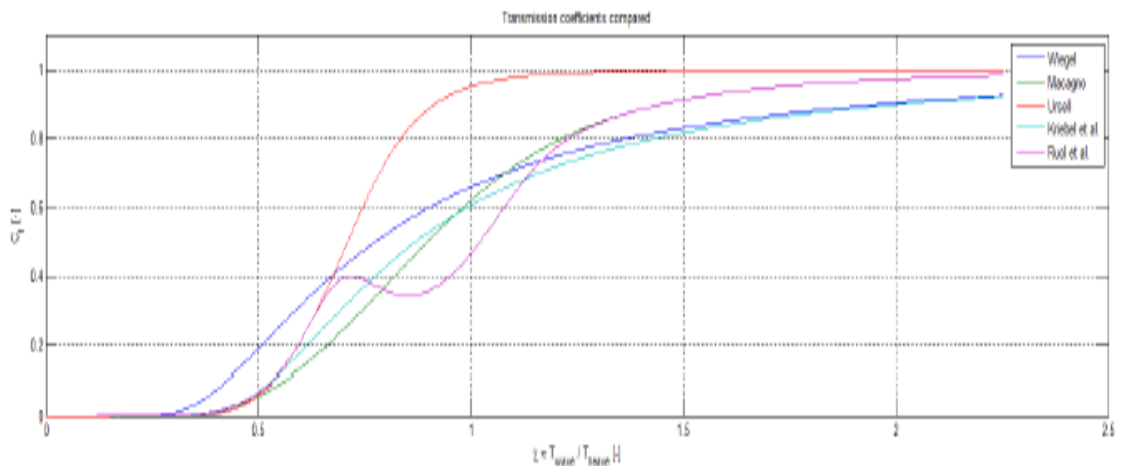
Ruol et al(2012) meneliti periode *heave* alami untuk *floating breakwater* dan dibandingkan analisis perhitungan dengan pengukuran eksperimental. Berdasarkan Ruol et al.(2012) disimpulkan bahwa nilai $\pi/8 \approx 0.39$ harus 0,35. Dari persamaan diatas periode *heave* alami dapat ditentukan :

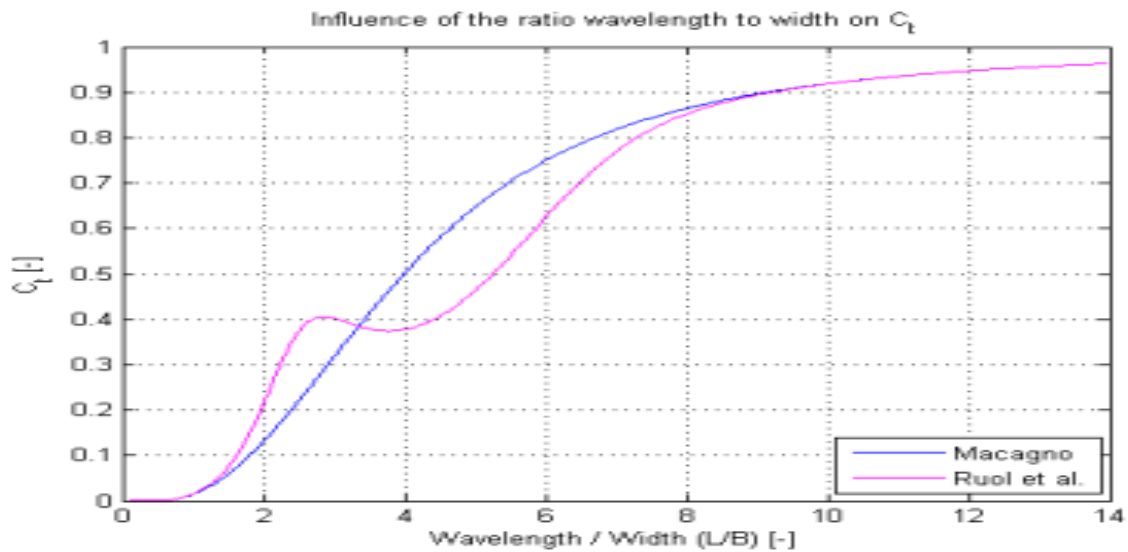
$$\omega_h = \frac{2\pi}{T_h} \rightarrow T_h = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{D + 0.35B}}} \dots\dots\dots \text{persamaan(2.18)}$$

Parameter(X), yang telah disebutkan sebelumnya, didefinisikan sebagai berikut oleh Ruol et al.(2012) :

$$\frac{T_p}{T_h} \approx \chi = \frac{T_p}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{D + 0.35B}} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.19)}$$

Apaila energi gelombang diperhitungkan, kebanyakan energi gelombang mengenai di bagian bawah. Oleh karena itu, diharapkan bahwa *draft* struktur memainkan peranan penting untuk peredaman energi gelombang. Selain itu, lebar struktur akan memiliki efek pada redaman energi gelombang. Berikut grafik transmisi gelombang berdasarkan perbandingan panjang gelombang dan lebar struktur :





Gambar (2.10) Grafik transmisi gelombang berdasarkan perbandingan panjang gelombang dan lebar struktur.
(Sumber :Foustert,2006)

Dalam teori di atas Macagno dan Ruol et al. (2012) adalah satu-satunya teori yang mengambil *draft* dan lebar struktur pada perhitungan. Gambar di atas menunjukkan pengaruh rasio panjang gelombang terhadap lebar struktur pada gelombang transmisi. Dari angka ini dapat dilihat bahwa koefisien transmisi meningkat pesat untuk $0 < (L/B) < 6.0$. Untuk $(L/B) > 6.0$ peningkatan koefisien transmisi gelombang menjadi lebih lambat.

2.2.14 Analisa Dinamis *Floating Breakwater*

Perilaku dinamis *floating breakwater* dipengaruhi berbagai faktor. Faktor tersebut dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: pengaruh dari lingkungan, pengaruh dari sistem *mooring*, pengaruh dari segmen *breakwater* yang lain.

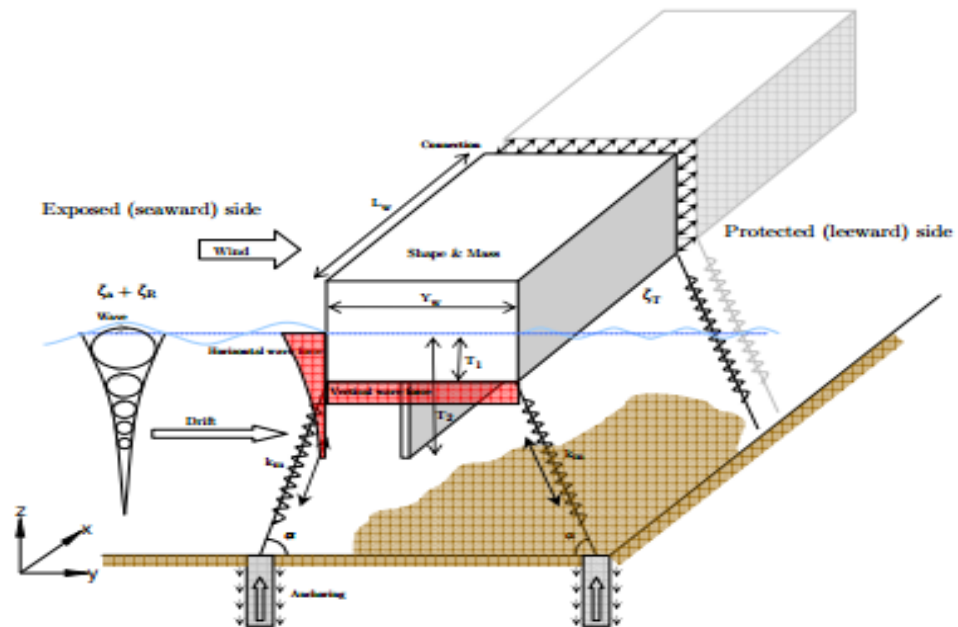


Figure 5-5: Structural and hydrodynamic influence factors.

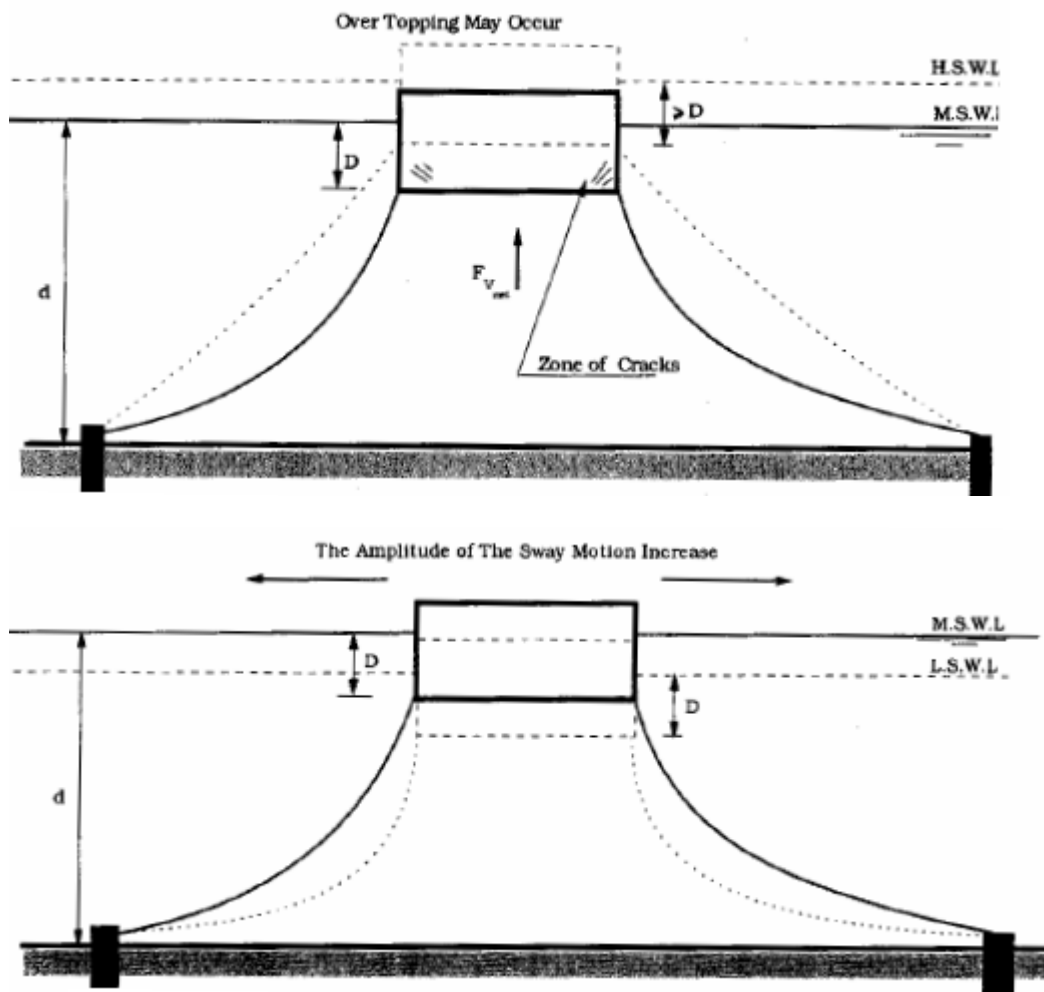
Gambar (2.11) Struktur dan faktor pengaruh hidrodinamikanya.
(Sumber :Foustert,2006)

2.2.15 Pengaruh Lingkungan

Kondisi gelombang dan angin menimbulkan gaya terhadap *floating breakwater* dalam bentuk gerakan. Semakin dalam daerah *floating breakwater* yang tercelup maka pengaruh gaya gelombang akan semakin besar. Perilaku dinamis dari *floating breakwater* dipengaruhi oleh massa struktur dan parameter hidrodinamis. Besarnya parameter hidrodinamik, tergantung pada frekuensi gerak dan dimensi struktur *floating breakwater*. Bentuk dan dimensi mempengaruhi perilaku struktural dan faktor-faktor yang menentukan kinerja dari *breakwater* yang terapung. Gerakan *heave* memiliki kontribusi positif pada kinerja dari *floating breakwater*. Selain itu, dapat dinyatakan bahwa struktur yang melakukan sedikit gerakan *sway* dan *roll* akan sedikit memancarkan energi gelombang. Karena argumen ini, bentuk dari *breakwater* terapung diambil persegi empat untuk mengoptimasi performa *floating breakwater*.

2.2.16 Pengaruh Dengan Sistem *Mooring*

Selain sebagai menjaga posisi *floating breakwater*, *mooring* juga merupakan parameter penting untuk mengetahui perilaku dinamis dari *floating breakwater*. Gerak vertikal, horizontal, dan *rolling* berpengaruh pada pelemahan kemampuan *floating breakwater* untuk mengurangi tinggi gelombang. Sistem *mooring* sangat penting untuk memberikan kontribusi positif dalam menahan gerakan *floating breakwater*. Sistem *catenary mooring* yang digunakan, memiliki pengaruh yang terbatas pada perilaku dinamis *floating breakwater* dan pengaruh pasang surut.



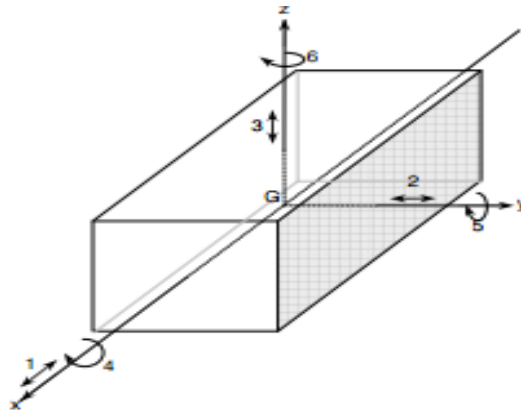
Gambar (2.12) Pengaruh dengan system mooring dan pasang surut.
(Sumber :Foustert,2006)

2.2.17 Pengaruh Dari Segmen *Floating Breakwater*

Total sistem-sistem *breakwater* terdiri dari beberapa segmen yang saling terhubung. Sudut datang gelombang dan gelombang *irregular* akan menggerakkan tiap *floating breakwater* secara berbeda. Berdasarkan koneksi pada bagian *floating breakwater* akan mempengaruhi dalam gerak pada semua derajat kebebasan. Bagian *floating breakwater* yang saling berinteraksi diabaikan. Dengan asumsi semua bagian akan bergerak secara simultan dan tidak ada perbedaan yang akan terjadi.

2.2.18 Perilaku Dinamis

Gaya gelombang dan gerakan *floating breakwater* dapat dimasukkan dalam gerak osilasi harmonis. Gerak osilasi *floating breakwater* akan menghasilkan gelombang yang disebut gelombang radiasi. Untuk *floating body* dalam bentuk tiga dimensi, 6 derajat kebebasan. Gerakan ditunjukkan pada gambar (2.13) :



Gambar (2.13) Derajat kebebasan dari *floating* bodi tiga dimensi.
(Sumber :Foustert,2006)

Jika gelombang datang dimasukkan dalam gerak osilasi harmonis struktur maka persamaan gerak dapat di rumuskan dengan 6 persamaan berikut :

1. Surge : $x = x_a \cos(\omega t + \varepsilon_{x_f})$ persamaan (2.20)

2. Sway : $y = y_a \cos(\omega t + \varepsilon_{y_f})$ persamaan (2.21)

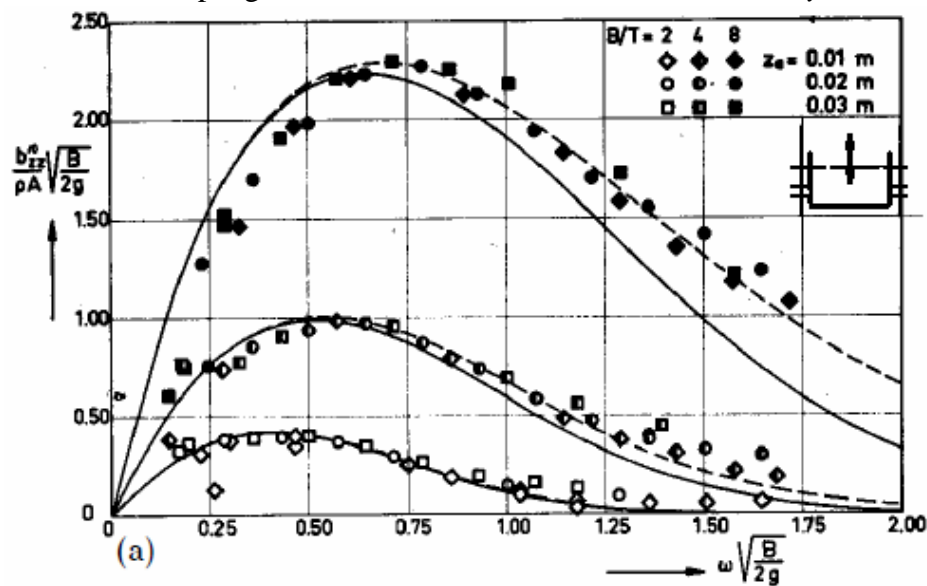
3. Heave : $z = z_a \cos(\omega t + \varepsilon_{z_f})$ persamaan (2.22)

4. *Roll* : $\phi = \phi_a \cos(\omega t + \varepsilon_{\phi})$ persamaan (2.23)
5. *Pitch* : $\theta = \theta_a \cos(\omega t + \varepsilon_{\theta})$ persamaan (2.24)
6. *Yaw* : $\psi = \psi_a \cos(\omega t + \varepsilon_{\psi})$ persamaan (2.25)

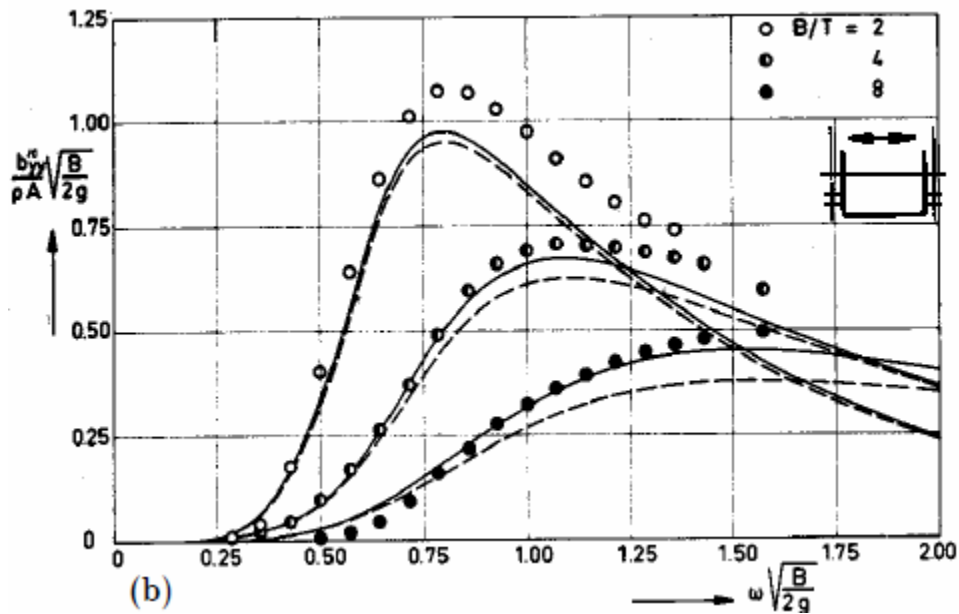
Gerakan tidak bisa berdiri sendiri dan saling mempengaruhi satu sama lain. Amplitudo *heave* dalam suatu titik pada bentuk 2 dimensi (yz)-plane sebagai contohnya juga dipengaruhi oleh besar gerakan *pitch*. Bentuk 3 dimensi dipengaruhi juga oleh bentuk 2 dimensi amplitudo yang terjadi, begitu juga untuk gerakan *sway* dalam (yz)-plane.

2.2.19 Hydrodynamic Damping Coefficient

Potensial damping berhubungan dengan jumlah energi radiasi gelombang hidrokinamis dari osilasi *floating breakwater* pada kedua sisi struktur. Gelombang akan menghilangkan energi dari osilasi *floating breakwater*, hal inilah yang menjadi alasan mengapa gerak akan berhenti sedikit demi sedikit. Besarnya redaman hidrokinamik bergantung pada interaksi dari permukaan yang berosilasi dari *floating breakwater* dan partikel air. Luasan di bawah *body floating breakwater* akan mengubah koefisien redaman hidrokinamik *heave* dan luasan disamping *body floating breakwater* akan mempengaruhi koefisien redaman hidrokinamik *sway* dan *roll*.



Gambar (2.14) Grafik antara *damping coefficient* dengan gerak *heave*.
(Sumber :Foustert,2006)



Gambar (2.15) Grafik antara *damping coefficient* dengan gerak *sway*.
(Sumber :Foustert,2006)

2.2.20 Analisa Olah Gerak *Floating Breakwater*

Model perhitungan dimensi *floating breakwater* dilakukan dalam sistem koordinat (xyz). Sumbu (y)-axis dalam hal ini sistem koordinat yang sejajar dengan *sea water level*. Sumbu (z)-axis tegak lurus sumbu (y) ke arah vertikal. Persimpangan dari (y) dan (z)-axis berada di *centre of gravitasi breakwater*. Gaya *exciting* gelombang dan momen dihasilkan dari gelombang datang pada *floating breakwater*. Gaya *hydromechanik* dan momen dihasilkan oleh gerakan *breakwater* itu sendiri. Gelombang datang akan menyebabkan struktur mengalami gerakan berosilasi. Gerakan ini akan menghasilkan gelombang yang akan memancarkan dari kedua sisi dari struktur. Secara umum, gerakan sistem linier dua dimensi digambarkan oleh tiga persamaan gerak, dalam notasi yang dicantumkan sebagai berikut :

$$1. \text{ Sway : } (m + a_{22}) \ddot{y} + b_{22} \dot{y} + a_{24} \ddot{\phi} + b_{24} \dot{\phi} = F_h \dots\dots\dots \text{persamaan (2.26)}$$

$$2. \text{ Heave : } (m + a_{33}) \ddot{z} + b_{33} \dot{z} + c_{33} z + a_{34} \ddot{\phi} + b_{34} \dot{\phi} + c_{34} \phi + a_{32} \ddot{y} + b_{32} \dot{y} = F_v$$

\dots\dots\dots \text{persamaan (2.27)}

$$3. \text{ Roll : } (I_{xx} + a_{44}) \ddot{\phi} + b_{44} \dot{\phi} + c_{44} \phi + a_{42} \ddot{y} + b_{42} \dot{y} = K \dots \dots \dots \text{persamaan (2.28)}$$

Persamaan gerak untuk *heave*, *sway* dan *roll* menjadi :

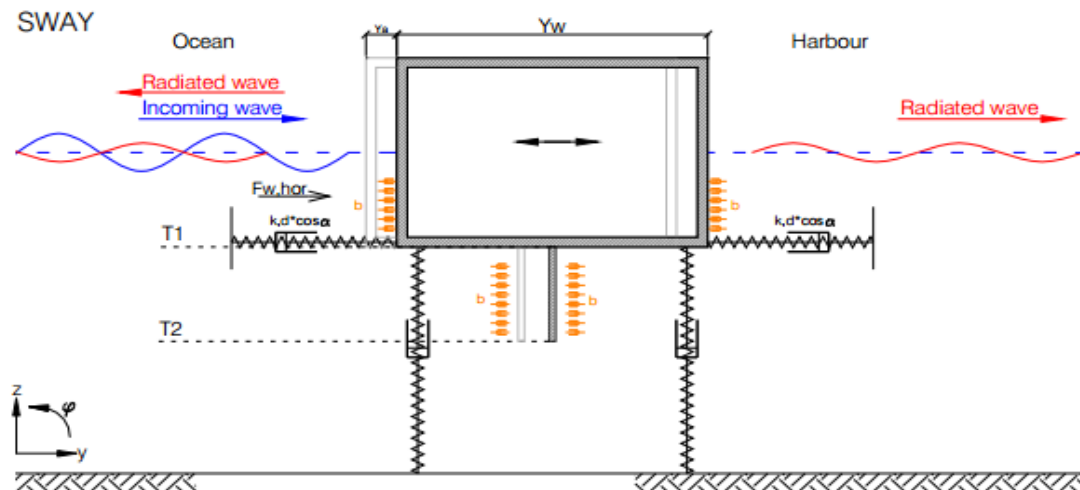
$$1. \text{ Sway : } (\rho \nabla + a_{22}) \ddot{y} + (d_{my} + b_{22}) \dot{y} + (k_{my}) \cdot y = a_{22} \cdot \ddot{\zeta}_{w2}^* + b_{22} \cdot \dot{\zeta}_{w2}^* \dots \dots \dots \text{persamaan (2.29)}$$

$$2. \text{ Heave : } (\rho \nabla + a_{33}) \ddot{z} + (d_{mz} + b_{33}) \dot{z} + (k_{mz} + c_{33}) \cdot z = a_{33} \cdot \ddot{\zeta}_{w3}^* + b_{33} \cdot \dot{\zeta}_{w3}^* + c_{33} \cdot \zeta_{w3}^* \cdot C_3 \dots \dots \dots \text{persamaan (2.30)}$$

$$3. \text{ Roll : } (I_{xx} + a_{44}) \ddot{\phi} + (d_{m\phi} + b_{44}) \dot{\phi} + (k_{m\phi} + c_{44}) \cdot \phi = a_{44} \cdot \ddot{\zeta}_{w4}^* + b_{44} \cdot \dot{\zeta}_{w4}^* + c_{44} \cdot \zeta_{w4}^* \dots \dots \dots \text{persamaan (2.31)}$$

2.2.21 Sway

Sway adalah gerakan horisontal struktur yang timbul setelah gelombang datang pada komponen horizontal. *Sway* akan menghasilkan sebuah gelombang yang dipancarkan ke sisi pelabuhan serta sisi laut dari *floating breakwater*. Karena *floating breakwater* memiliki garis tengah simetris, persamaan diatas dapat diterapkan.



Gambar (2.16) Sistem Hidrodinamis gerakan *sway*
(Sumber :Foustert,2006)

Pada gelombang panjang gerak horizontal dari benda *free floating* tidak dipengaruhi oleh angin, namun digerakan dengan amplitudo yang sama dengan partikel air.

Dengan kata lain ketika benda terapung yang sangat kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang, benda itu akan bergerak dengan amplitudo yang sama dengan partikel air disekitarnya. Tinggi gelombang transmisi pada saat terjadi *sway* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

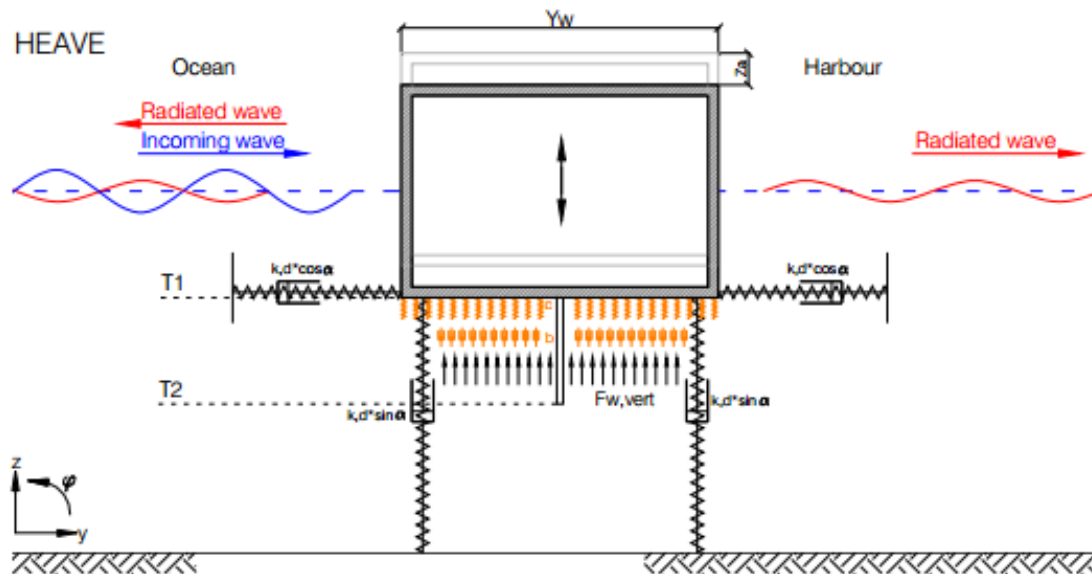
$$\zeta_{T,sway}(t) = \sqrt{\frac{b_{22} \cdot \omega^3 \cdot y_a^2}{\rho \cdot g^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon_{y\zeta}) \dots\dots\dots \text{persamaan (2.32)}$$

Untuk mencari nilai amplitudo *sway* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = e^{-kT_2} \sqrt{\frac{\{a_{22}\omega^2\}^2 + \{b_{22}\omega\}^2}{\{-k + (m + a_{22})\omega^2\}^2 + \{(d + b_{22})\omega\}^2}} \dots\dots \text{persamaan (2.33)}$$

2.2.22 Heave

Heave adalah gerak vertikal struktur yang timbul setelah terbebani oleh gelombang datang. Gelombang yang dihasilkan oleh gerakan *heave* dari *floating breakwater* meradiasi ke sisi pelabuhan dengan fase berbeda dibandingkan dengan gelombang datang. Perbedaan fase ini tergantung pada dimensi struktural, frekuensi gelombang dan kekakuan tambat. Menurut persamaan sederhana, gelombang teradiasi pada kedua sisi dari *floating breakwater* tidak mempunyai beda fase.



Gambar (2.17) Sistem hidrodinamis gerakan *heave*
(Sumber :Foustert,2006)

Tinggi gelombang transmisi pada gerak vertikal menjadi :

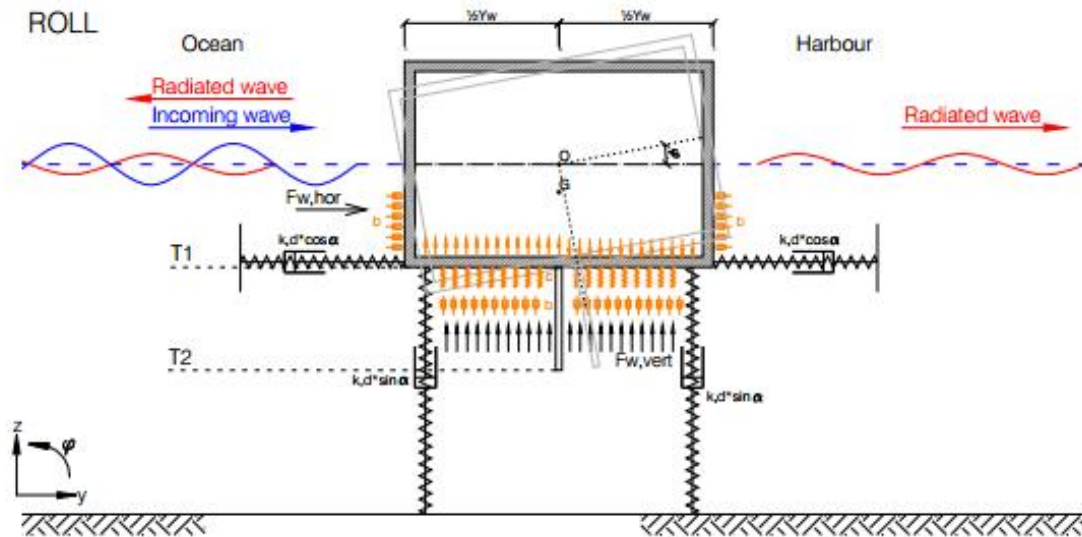
$$\zeta_{T:heave}(t) = \sqrt{\frac{b_{33} \cdot \omega^3 \cdot z_a^2}{\rho \cdot g^2}} \cos(\omega t + \varepsilon_{z\zeta}) \dots\dots\dots \text{persamaan (2.34)}$$

Untuk mencari nilai amplitudo *heave* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = e^{-kT_1} \sqrt{\frac{\{c_{33} \cdot C_3 - a_{33}\omega^2\}^2 + \{b_{33}\omega\}^2}{\{(k + c_{33}) - (m + a_{33})\omega^2\}^2 + \{(d + b_{33})\omega\}^2}} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.35)}$$

2.2.23 Roll

Roll terjadi ketika resultan gaya hidrodinamis tidak searah dengan pusat rotasi. Gelombang horizontal dan vertikal memiliki gaya yang sebanding dengan lengan gaya yang menimbulkan momen. Gerak *roll* sendiri menimbulkan *standing wave* pada sisi laut dengan fase yang berbeda dari gelombang datang. Beda fase tergantung dimensi struktur, frekuensi gelombang dan kekakuan *mooring*.



Gambar (2.18) Sistem hidrodinamis gerakan *roll*
(Sumber :Foustert,2006)

Roll dari *floating breakwater* dalam 2-dimensi (yz)-plane dideskripsikan pada persamaan (2.15). Tinggi gelombang transmisi pada gerak *roll* menjadi :

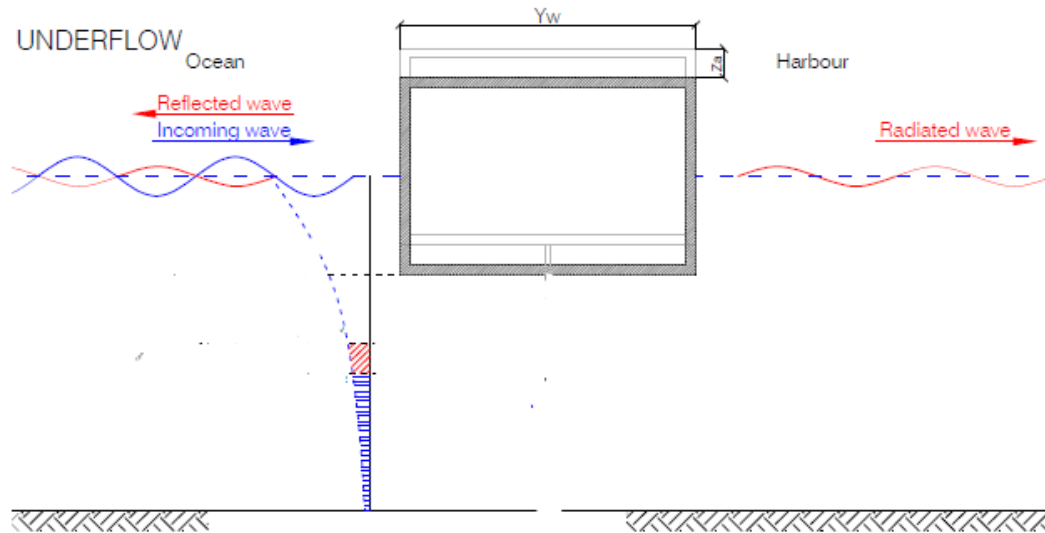
$$\zeta_{T;roll}(t) = -\sqrt{\frac{b_{44} \cdot \omega^3 \cdot \phi_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon_{\phi}) \dots\dots\dots \text{persamaan (2.36)}$$

Untuk mencari nilai amplitudo *roll* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{\frac{\left\{ \left(e^{-kT_2} \cdot z_b \cdot a_{22} \omega^2 \right) + \left(e^{-kT_1} \cdot y_b \cdot b_{33} \omega \right) \right\}^2 + \left\{ \left(e^{-kT_2} \cdot z_b \cdot b_{22} \omega \right) - \left(y_b \cdot e^{-kT_1} \left(c_{33} \cdot C_3 - a_{33} \omega^2 \right) \right) \right\}^2}{\left\{ \left(I + a_{44} \right) \omega^2 - \left(\frac{1}{2} Y_w^2 \cdot k_{cz} + 2T_1^2 \cdot k_{cy} + c_{44} + \overline{OG} \cdot mg \right) \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{1}{2} Y_w^2 \cdot d_{bz} + 2T_1^2 \cdot d_{by} + b_{44} \right) \omega \right\}^2}} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.37)}$$

2.2.24 Underflow

Bagian energi gelombang yang tidak terpengaruh oleh adanya *floating breakwater* disebut *underflow*. Fenomena ini terjadi pada bagian bawah struktur *floating breakwater*.



(Gambar 2.19) Sistem Hidrodinamis *Underflow*

Berikut persamaan untuk mendapatkan nilai dari *underflow* :

$$\zeta_{u;t} = e^{-k \cdot D} \cdot H_i \dots\dots\dots \text{persamaan (2.38)}$$

Dengan :

- k = Angka gelombang
 D = Sarat (m)
 H_i = Gelombang datang (m)

2.2.25 Gaya Gelombang

Perhitungan gaya gelombang pada *floating breakwater* dihitung dengan parameter: (H) adalah tinggi gelombang, (T) adalah periode gelombang, (θ) adalah arah gelombang, (W) adalah berat *floating breakwater*, (L) adalah panjang *floating breakwater*, (B) adalah lebar *floating breakwater*, (D) adalah draft *floating breakwater*, (d) adalah kedalaman air, (y) pengaturan *mooring*, (m) adalah massa tambahan, (g) adalah percepatan gravitasi. Persamaan untuk menghitung gaya gelombang melintang adalah sebagai berikut:

$$F_y = yH \left(1 + \sqrt{|\sin \theta|} \right) L D a_y \gamma g \sin \theta \dots\dots \text{persamaan (2.39)}$$

Dimana:

$$a_y = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{T_y}{T} \right)^2 \right)^2 + 4 \left(\frac{T_y}{T} \right)^2 \mu_y^2}} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.40)}$$

Dimana :

- T_y : periode *rolling*
 T : periode gelombang
 \square_y : non dimensional damping parameter

$$\mu_y = 0.3 \frac{W}{W_f}$$

Dimana :

- W : berat *floating breakwater* dalam (ton)

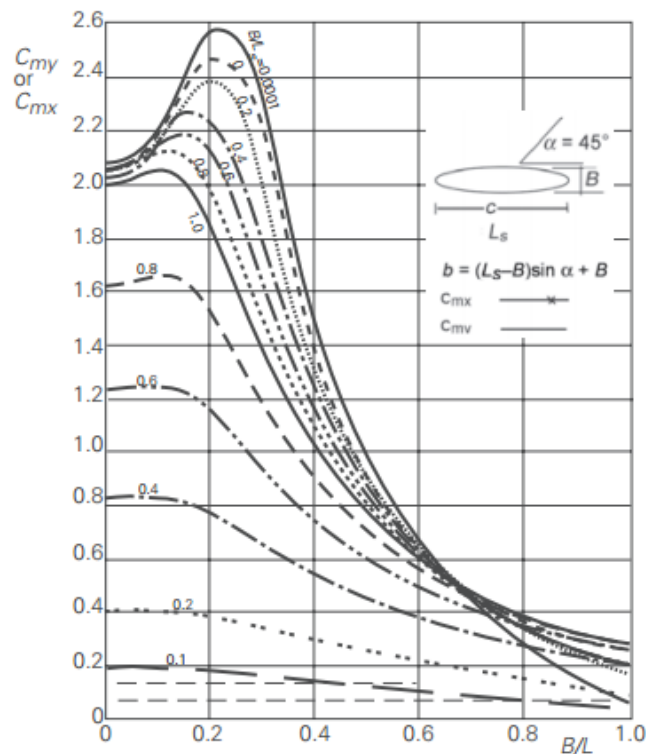
W_f : berat *displacement* (ton)

2.2.26 Gaya Arus

Gaya arus pada *breakwater* yang sebanding dengan *cross-sectional area* di bawah air dan rata-rata arus kecepatan kuadrat. Seperti gaya di atas bidang dengan luas A dalam air yang mengalir :

$$F = C \cdot A \cdot v^2 \quad \text{.....persamaan (2.41)}$$

Nilai dari (C) bergantung pada sudut arah arus dengan sumbu *breakwater*, di bawah *keel clearance* (rasio *breakwater draught* dan kedalaman air) serta bentuk *breakwater* konvensional atau *bullbos bow*. Karena asimetri dari bagian longitudinal garis kerja gaya lateral dapat mengimbangi dari titik (A) *midfloating breakwaters*. Yang diambil sebagai pusat dari sistem koordinat.



Gambar (2.20) Koefisien Massa Virtual untuk $(\alpha) = 45^\circ$

Ini bisa ditampilkan sebagai sebuah moment (m_{xy}) selain untuk gaya (f_y). Tetapi cara lain yaitu menentukan dua gaya lateral di depan tegak lurus dan di bagian tegak lurus buritan. Hal Ini umumnya lebih mudah dalam perhitungan, karena garis tambatan depan dan belakang memiliki resultan di titik-titik sepanjang *breakwater* memanjang. Dalam kasus terakhir formula untuk f_x , f_y and f_{ya} menjadi :

$$F_{xc} = \frac{1}{2} C_{xc} \rho_w \cdot V_c^2 \cdot D \cdot L_{BP} \quad \dots\dots\dots \text{persamaan (2.42)}$$

$$F_{yFc} = \frac{1}{2} C_{yFc} \rho_w \cdot V_c^2 \cdot D \cdot L_{BP} \quad \dots\dots\dots \text{persamaan (2.43)}$$

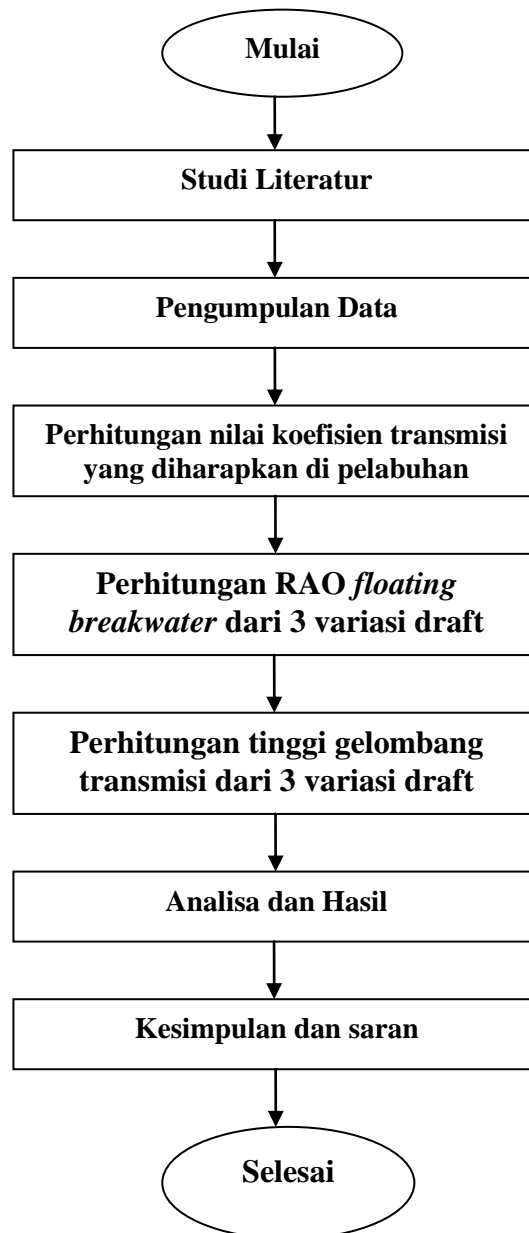
$$F_{yAc} = \frac{1}{2} C_{yAc} \cdot \rho_w \cdot V_c^2 \cdot D \cdot L_{BP} \quad \dots\dots\dots \text{persamaan (2.44)}$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan digambarkan dalam diagram alir pengerjaan sebagai berikut:



Gambar (3.1) Diagram Alir Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

1. Studi literatur

Informasi mengenai *floating breakwater* dan perhitungan yang digunakan dalam tugas akhir ini diperoleh dari jurnal, penelitian tugas akhir, buku dan sumber lainnya.

2. Pengumpulan data

Data-data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah data lingkungan pelabuhan dimana akan dibangunnya struktur yaitu berupa data batimetri, arus, pasang surut, gelombang, angin, tanah serta kapal yang akan berlabuh yang disediakan oleh PT. Pertamina dan PT. Medco dan PT. Surveyor Indonesia, 2014.

3. Perhitungan nilai koefisien transmisi yang diharapkan di pelabuhan

Menghitung nilai koefisien transmisi yang diharapkan sesuai dengan gelombang yang datang di pelabuhan.

4. Perhitungan RAO *floating breakwater* dari 3 variasi draft

Menggunakan model *floating breakwater* yang sudah ada dengan membedakan 3 variasi draft, langkah selanjutnya menghitung RAO dari struktur *floating breakwater* dengan 3 variasi draft. Perhitungan RAO hanya pada gerakan *sway*, *heave*, dan *roll*.

5. Perhitungan tinggi gelombang transmisi dari 3 variasi draft

Mencari tinggi gelombang transmisi dari *floating breakwater* dengan 3 variasi draft, perhitungan tinggi gelombang transmisi hanya pada gerakan *sway*, *heave*, dan *roll*.

6. Analisa dan Hasil

Analisa dan hasil akan disajikan dalam bentuk gambar dan tabel.

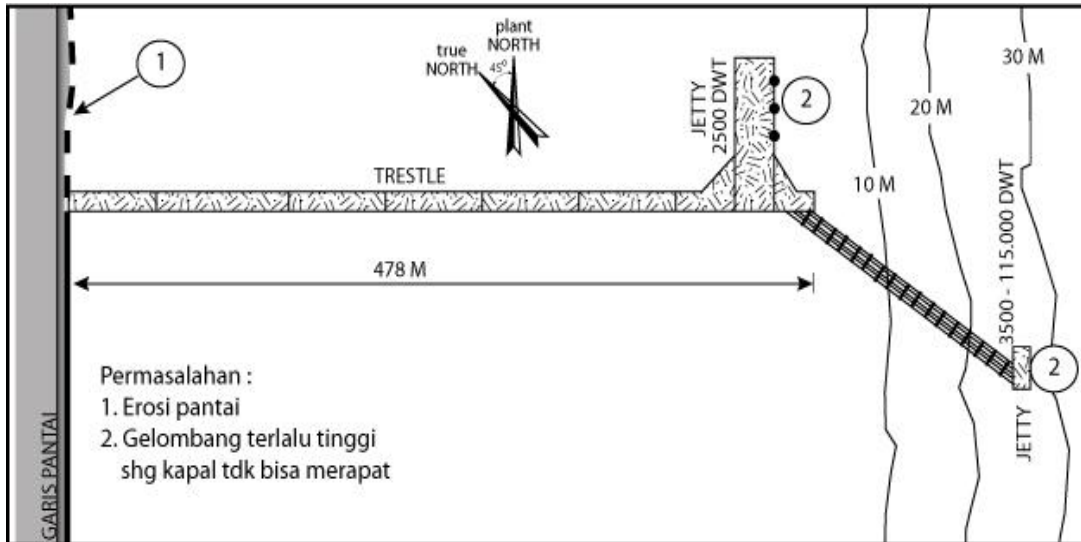
7. Kesimpulan dan saran

Dalam tahapan ini akan ditulis laporan akhir yang berisi kesimpulan yang didapatkan selama penelitian, dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data



Gambar (4.1) Permasalahan yang dihadapi terkait pembangunan *jetty* di Senoro Field
(Sumber : PT.Surveyor Indonesia,2014)

Permasalahan yang dihadapi terkait pembangunan *jetty* di Senoro Field adalah :

1. Terjadinya erosi pantai.
2. Gelombang yang tinggi menyebabkan kapal tidak bisa merapat pada *jetty*.

Tabel (4.1) Nilai gelombang signifikan pada pelabuhan

Return Period Year	Maximum Significant Wave Height and Period coming from					
	East		South		South West	
	Hs (m)	Ts (sec)	Hs (m)	Ts (sec)	Hs (m)	Ts (sec)
2	1.0	3.45	1.5	3.90	0.60	4.01
5	1.4	3.87	1.9	4.27	1.13	5.16
10	1.7	4.15	2.1	4.51	1.49	5.92
20	2.0	4.42	2.4	4.74	1.83	6.64
30	2.1	4.60	2.5	4.90	2.05	7.14
50	2.3	4.76	2.7	5.04	2.26	7.59

(Sumber : PT.Surveyor Indonesia, 2014)

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perhitungan Koefisien Transmisi yang Diharapkan di Pelabuhan :

Tinggi gelombang datang yang menabrak *floating breakwater* (H_i) = 3.2 meter

Tinggi gelombang yang diinginkan di kolam labuh (H_t) = 0.7 meter

$$C_t = \frac{H_t}{H_i} \dots \dots \dots \text{persamaan (4.1)}$$

dengan :

C_t : *Transmissions coefficient*

$$C_t = 0.7\text{m} : 3.2\text{m}$$

$$= 0.218$$

Hasil analisa dari dimensi *floating breakwater* dengan 3 variasi draft adalah sebagai berikut :

Tabel (4.2) Hasil dimensi *floating breakwater* dengan variasi draft 16,4 meter

Variabel	Nilai	Satuan
L_w (panjang)	30	m
B (lebar)	22.7754	m
T_w (tinggi)	17.4078	m
D (draft)	16.4078	m
F_c (freeboard)	1.7	m

Tabel (4.3) Hasil dimensi *floating breakwater* dengan variasi draft 15,9 meter

Variabel	Nilai	Satuan
L_w (panjang)	30	m
B (lebar)	22.7754	m
T_w (tinggi)	16.9	m

D (draft)	15.9	m
Fc (freeboard)	1.7	m

Tabel (4.4) Hasil dimensi *floating breakwater* dengan variasi draft 15,4 meter

Variabel	Nilai	Satuan
L _w (panjang)	30	m
B (lebar)	22.7754	m
T _w (tinggi)	16.4	m
D (draft)	15.4	m
Fc (freeboard)	1.7	m

4.2.2 Perhitungan RAO (*Response Amplitude Operators*) Sway, Heave, dan Roll

4.2.3 Perhitungan RAO Heave

Perhitungan *heave* dengan draft 16,4 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) menggunakan persamaan :

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = e^{-kT_1} \sqrt{\frac{\{c_{33} \cdot C_3 - a_{33}\omega^2\}^2 + \{b_{33}\omega\}^2}{\{(k + c_{33}) - (m + a_{33})\omega^2\}^2 + \{(d + b_{33})\omega\}^2}} \dots\dots\dots \text{persamaan (4.2)}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = \frac{2,718^{(-0,18 \cdot 15)}}{\sqrt{\frac{(17404,13 \cdot 8,38 - 1948,66 \cdot 1,34)^2 (56158,96 \cdot 1,16)^2}{((0,13 + 17404,13) - (2033,28 + 1948,66) \cdot 1,34)^2 + ((56158,96 \cdot 1,16)^2}}}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = \frac{0,1422}{\sqrt{\frac{4243937627}{4458833172}}}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = \frac{0,1422}{\sqrt{0,95180453}}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = 0,024 \text{ m/m}$$

Dengan :

e : *exponential* = 2,718

k : angka gelombang = 0,13 (rad/m)

$$: k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

m : massa floating breakwater (ton) = 2033,28 (ton)

T_1 : *Draft of the floating section of the breakwater* (m)

$$: T_1 = \frac{m}{\rho \cdot Y_w}$$

$$= 15 \text{ (m)}$$

c_{33} : *restoring spring coefficient* (kg/s²)

$$: c_{33} = \rho g A_s$$

$$= 17404,13 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

C_3 : Koefisien distribusi tekanan arah vertical.

$$: 1 - \frac{k}{Y_w} \cdot e^{-kT_1}$$

$$= 8,38$$

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^2 = 1,34 \text{ (rad/sec)}$$

a_{33} : massa tambah = 1948,66 (ton)

b_{33} : *Hydrodynamic damping* (kg/s)

$$= 56518,96 \text{ (kg/s)}$$

Perhitungan *heave* dengan draft 15,9 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) menggunakan persamaan (4.2) :

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = e^{-kT_1} \sqrt{\frac{\{c_{33} \cdot C_3 - a_{33} \omega^2\}^2 + \{b_{33} \omega\}^2}{\{(k + c_{33}) - (m + a_{33}) \omega^2\}^2 + \{(d + b_{33}) \omega\}^2}}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = {}^{2,718}_{(-0,13 \cdot 14,54)} \sqrt{\frac{(16873,52 \cdot 8,12 - 1889,25 \cdot 1,34)^2 (54446,8 \cdot 1,16)^2}{((0,13 + 16873,52) - (1971,29 + 1889,25) \cdot 1,34)^2 + (54446,8 \cdot 1,16)^2}}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = {}^{0,1378} \sqrt{\frac{4114549285}{4322893136}}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = {}^{0,1378} \sqrt{0,9227861}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = 0,023 \text{ m/m}$$

Dengan :

e : *exponential* = 2,718

k : angka gelombang = 0,13 (rad/m)

$$: k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

m : massa floating breakwater (ton) = 1971,29 (ton)

T_1 : *Draft of the floating section of the breakwater* (m)

$$: T_1 = \frac{m}{\rho \cdot Y_w}$$

$$= 14,54 \text{ (m)}$$

c_{33} : *restoring spring coefficient* (kg/s²)

$$: c_{33} = \rho g A_s$$

$$= 16873,52 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

C_3 : Koefisien distribusi tekanan arah vertical.

$$: 1 - \frac{k}{Y_w} \cdot e^{-kT_1}$$

$$= 8,12$$

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^2 = 1,34 \text{ (rad/sec)}$$

a_{33} : massa tambah = 1899,25 (ton)

b_{33} : *Hydrodynamic damping* (kg/s)
= 54446,80 (kg/s)

Perhitungan *heave* dengan draft 15,4 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) menggunakan persamaan (4.2) :

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = e^{-kT_1} \sqrt{\frac{\{c_{33} \cdot C_3 - a_{33}\omega^2\}^2 + \{b_{33}\omega\}^2}{\{(k + c_{33}) - (m + a_{33})\omega^2\}^2 + \{(d + b_{33})\omega\}^2}}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = 2,718^{(-0,13 \cdot 14,08)} \sqrt{\frac{(16342,90 \cdot 7,86 - 1829,83 \cdot 1,34)^2 (52734,63 \cdot 1,16)^2}{((0,13 + 16342,90) - (1909,29 + 1829,83) \cdot 1,34)^2 + (52734,63 \cdot 1,16)^2}}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = 0,1885 \sqrt{\frac{3985160942}{4059302091}}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = 0,1885 \sqrt{0,86651865}$$

$$\frac{z_a}{\zeta_a} = 0,022 \text{ m/m}$$

Dengan :

e : *exponential* = 2,718

k : angka gelombang = 0,13 (rad/m)

$$: k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

m : massa floating breakwater (ton) = 1909,29 (ton)

T_1 : Draft of the floating section of the breakwater (m)

$$: T_1 = \frac{m}{\rho \cdot Y_w}$$

$$= 14,08 \text{ (m)}$$

c_{33} : restoring spring coefficient (kg/s²)

$$: c_{33} = \rho g A_s$$

$$= 16342,90 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

C_3 : Koefisien distribusi tekanan arah vertical.

$$: 1 - \frac{k}{Y_w} \cdot e^{-kT_1}$$

$$= 7,86$$

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^2 = 1,34 \text{ (rad/sec)}$$

a_{33} : massa tambah = 1829,83 (ton)

b_{33} : Hydrodynamic damping (kg/s)

$$= 52734,63 \text{ (kg/s)}$$

4.2.4 Perhitungan RAO Sway

Perhitungan sway dengan draft 16,4 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) menggunakan persamaan :

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = e^{-kT_2} \sqrt{\frac{\{a_{22}\omega^2\}^2 + \{b_{22}\omega\}^2}{\{-k + (m + a_{22})\omega^2\}^2 + \{(d + b_{22})\omega\}^2}} \dots\dots\dots \text{persamaan (4.3)}$$

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = \frac{2,718^{(-0,13 \cdot 11)}}{\sqrt{\frac{(1918,24 \cdot 1,34)^2 + (32208,817 \cdot 1,16)^2}{-0,13 + ((2033,28 + 1918,24) \cdot 1,34)^2 + ((32208,817 \cdot 1,16)^2)}}$$

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = \frac{0,239}{\sqrt{\frac{1402542623}{1423972868}}}$$

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = 0,252 \text{ m/m}$$

Dengan :

e : *exponential* = 2,718

k : angka gelombang = 0,13 (rad/m)

$$: k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

m : massa floating breakwater (ton) = 2033,28 (ton)

T_1 : *Draft of the floating section of the breakwater* (m)

$$: T_1 = \frac{m}{\rho \cdot Y_w}$$

$$= 15 \text{ (m)}$$

c_{33} : *restoring spring coefficient* (kg/s²)

$$: c_{33} = \rho g A_s$$

$$= 17404,13 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

C_3 : Koefisien distribusi tekanan arah vertical.

$$: 1 - \frac{k}{Y_w} \cdot e^{-kT_1}$$

$$= 8,38$$

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^2 = 1,34 \text{ (rad/sec)}$$

a_{33} : massa tambah *heave* = 1948,66 (ton)

b_{33} : *Hydrodynamic damping for heave* (kg/s)

$$= 56518,96 \text{ (kg/s)}$$

T_2 : *Draft of the screen underneath floating section of the breakwater* (m)

$$= 11 \text{ (m)}$$

a_{22} : massa tambah *sway* (ton)

$$: a_{22} = (a'_{22} + P_{s;a;a}) \cdot \rho A + \rho \cdot \pi \cdot L_w \left(\frac{1}{2} \cdot (T_2 - T_1) \right)^2$$

$$: P_{s;a;a}$$

Adalah massa tambah *additional polynomial* yang dapat dilihat pada Tabel (B-4) (Foustert : 2006) Hal.B-16.

: Jadi massa tambah sway = 1918,24 (ton)

b_{22} : *Hydrodynamic damping for sway* (kg/s)

$$b_{22} = (b'_{22} + P_{s;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 32208,817 \text{ (kg/s)}$$

Perhitungan *sway* dengan draft 15,9 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) menggunakan persamaan (4.3) :

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = e^{-kT_2} \sqrt{\frac{\{a_{22}\omega^2\}^2 + \{b_{22}\omega\}^2}{\{-k + (m + a_{22})\omega^2\}^2 + \{(d + b_{22})\omega\}^2}}$$

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = {}^{2,718}_{(-0,13 \cdot 10,66)} \sqrt{\frac{(1859,75 \cdot 1,34)^2 + (31226,84 \cdot 1,16)^2}{-0,13 + ((1971,28 + 1859,75) \cdot 1,34)^2 + ((31226,84 \cdot 1,16)^2}}$$

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = {}^{0,231} \sqrt{\frac{1359782177}{1380559061}}$$

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = 0,244 \text{ m/m}$$

Dengan :

e : *exponential* = 2,718

k : angka gelombang = 0,13 (rad/m)

$$: k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

m : massa floating breakwater (ton) = 1971,28 (ton)

T_1 : Draft of the floating section of the breakwater (m)

$$: T_1 = \frac{m}{\rho \cdot Y_w}$$

$$= 15 \text{ (m)}$$

c_{33} : restoring spring coefficient (kg/s²)

$$: c_{33} = \rho g A_s$$

$$= 17404,13 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

C_3 : Koefisien distribusi tekanan arah vertical.

$$: 1 - \frac{k}{Y_w} \cdot e^{-kT_1}$$

$$= 8,38$$

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^2 = 1,34 \text{ (rad/sec)}$$

a_{33} : massa tambah *heave* = 1948,66 (ton)

b_{33} : Hydrodynamic damping for *heave* (kg/s)

$$= 56518,96 \text{ (kg/s)}$$

T_2 : Draft of the screen underneath floating section of the breakwater (m)

$$= 10,66 \text{ (m)}$$

a_{22} : massa tambah *sway* (ton)

$$: a_{22} = (a'_{22} + P_{s;a;a}) \cdot \rho A + \rho \cdot \pi \cdot L_w \left(\frac{1}{2} \cdot (T_2 - T_1) \right)^2$$

$$: P_{s;a;a}$$

Adalah massa tambah *additional polynomial* yang dapat dilihat pada

Tabel (B-4) (Foustert : 2006) Hal.B-16.

: Jadi massa tambah *sway* = 1859,75 (ton)

b_{22} : Hydrodynamic damping for *sway* (kg/s)

$$b_{22} = (b'_{22} + P_{s;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 31226,84 \text{ (kg/s)}$$

Perhitungan *sway* dengan draft 15,4 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) menggunakan persamaan (4.3) :

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = e^{-kT_1} \sqrt{\frac{\{a_{22}\omega^2\}^2 + \{b_{22}\omega\}^2}{\{-k + (m + a_{22})\omega^2\}^2 + \{(d + b_{22})\omega\}^2}}$$

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = {}^{2,718}_{(-0,13+10,82)} \sqrt{\frac{(1801,26 * 1,34)^2 + (30244,86 * 1,16)^2}{-0,13 + ((1909,29 + 1801,26) * 1,34)^2 + ((30244,86 * 1,16)^2}}$$

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = {}^{0,223}_{\sqrt{1317021731 / 1337145254}}$$

$$\frac{y_a}{\zeta_a} = 0,236 \text{ m/m}$$

Dengan :

e : *exponential* = 2,718

k : angka gelombang = 0,13 (rad/m)

$$: k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

m : massa floating breakwater (ton) = 1909,29 (ton)

T_1 : *Draft of the floating section of the breakwater* (m)

$$: T_1 = \frac{m}{\rho \cdot Y_w}$$

$$= 15 \text{ (m)}$$

c_{33} : *restoring spring coefficient* (kg/s²)

$$: c_{33} = \rho g A_s$$

$$= 17404,13 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

C_3 : Koefisien distribusi tekanan arah vertical.

$$: 1 - \frac{k}{Y_w} \cdot e^{-kT_1}$$

$$= 8,38$$

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^2 = 1,34 \text{ (rad/sec)}$$

a_{33} : massa tambah *heave* = 1948,66 (ton)

b_{33} : *Hydrodynamic damping for heave* (kg/s)

$$= 56518,96 \text{ (kg/s)}$$

T_2 : *Draft of the screen underneath floating section of the breakwater* (m)

$$= 10,32 \text{ (m)}$$

a_{22} : massa tambah *sway* (ton)

$$a_{22} = (a'_{22} + P_{s;a;a}) \cdot \rho A + \rho \cdot \pi \cdot L_w \left(\frac{1}{2} \cdot (T_2 - T_1) \right)^2$$

$$P_{s;a;a}$$

Adalah massa tambah *additional polynomial* yang dapat dilihat pada Tabel (B-4) (*Foustert : 2006*) Hal.B-16.

: Jadi massa tambah *sway* = 1801,26 (ton)

b_{22} : *Hydrodynamic damping for sway* (kg/s)

$$b_{22} = (b'_{22} + P_{s;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 30244,86 \text{ (kg/s)}$$

4.2.5 Perhitungan RAO Roll

Perhitungan *rolling* dengan draft 16,4 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) menggunakan persamaan :

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{\frac{\left\{ \left(e^{-kT_2} \cdot z_b \cdot a_{22}\omega^2 \right) + \left(e^{-kT_1} \cdot y_b \cdot b_{33}\omega \right) \right\}^2 + \left\{ \left(e^{-kT_2} \cdot z_b \cdot b_{22}\omega \right) - \left(y_b \cdot e^{-kT_1} \left(c_{33} \cdot C_3 - a_{33}\omega^2 \right) \right) \right\}^2}{\left\{ (I + a_{44})\omega^2 - \left(\frac{1}{2}Y_w^2 \cdot k_{cz} + 2T_1^2 \cdot k_{cy} + c_{44} + \overline{OG} \cdot mg \right) \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{1}{2}Y_w^2 \cdot d_{bz} + 2T_1^2 \cdot d_{by} + b_{44} \right) \omega \right\}^2}}$$

.....persamaan (4.4)

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{\frac{((2,718^{-0,13 \cdot 11}) * 8,2 * 1918,24 * 1,34) + ((2,718^{-0,13 \cdot 15}) * 11,32 * 56158,96 * (1,16^2)) + (2,718^{-0,13 \cdot 11}) * 8,2 * 32208,817 * 1,16) - (11,32 * (2,718^{-0,13 \cdot 15}) \frac{(17404,13 * 8,38 - 1948,66 * 1,34)}{1948,66 * 1,34})^2}{((6188,72 + 5092,40) * 1,34) - (127,69 * 9,682 + 900 * 9,43) + 21860,33 + (3,518 * 2033,28 * 9,81)^2 + (127,690 + 900 + 62055,65 * 1,16)^2}}$$

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{0,211612575}$$

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = 0,458 \text{ deg/m}$$

Dengan :

e : *exponential* = 2,718

k : angka gelombang = 0,13 (rad/m)

$$: k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

m : massa floating breakwater (ton) = 2033,28 (ton)

T_1 : *Draft of the floating section of the breakwater* (m)

$$: T_1 = \frac{m}{\rho \cdot Y_w}$$

$$= 15 \text{ (m)}$$

c_{33} : *restoring spring coefficient* (kg/s²)

$$: c_{33} = \rho g A_s$$

$$= 17404,13 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

C_3 : Koefisien distribusi tekanan arah vertical.

$$: 1 - \frac{k}{Y_w} \cdot e^{-kT_1}$$

$$= 8,38$$

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^2 = 1,34 \text{ (rad/sec)}$$

a_{33} : massa tambah *heave* = 1948,66 (ton)

b_{33} : *Hydrodynamic damping for heave* (kg/s)

$$= 56518,96 \text{ (kg/s)}$$

T_2 : *Draft of the screen underneath floating section of the breakwater* (m)

$$= 11 \text{ (m)}$$

a_{22} : massa tambah sway (ton)

$$a_{22} = (a'_{22} + P_{s;a;a}) \cdot \rho A + \rho \cdot \pi \cdot L_w \left(\frac{1}{2} \cdot (T_2 - T_1) \right)^2$$

$$P_{s;a;a}$$

Adalah massa tambah *additional polynomial* yang dapat dilihat pada Tabel (B-4) (Foustert : 2006) Hal.B-16.

: Jadi massa tambah sway = 1918,24 (ton)

b_{22} : *Hydrodynamic damping for sway* (kg/s)

$$b_{22} = (b'_{22} + P_{s;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 32208,817 \text{ (kg/s)}$$

z_b : *Vertikal lever arm* (m)

$$z_b = \frac{\ln \left(\frac{1 + e^{-k \cdot T_2}}{2} \right)}{-k}$$

$$= 8,2 \text{ (m)}$$

y_b : *Horizontal lever arm* (m)

$$y_b = \frac{\cos^{-1} \left(\frac{1 + \cos \left(\frac{Y_w}{L} \pi \right)}{2} \right)}{\pi} \cdot L$$

$$= 11,32 \text{ (m)}$$

I : *Massa momen inersia* (m⁴)

$$: (0.35 \cdot Y_w)^2 \cdot m$$

$$= 6188,72 \text{ (m}^4\text{)}$$

a_{44} : *Added mass moment of inertia* (Ns²/rad)

$$: a_{44} = (a'_{44} + P_{r;d;a}) \cdot \rho A_w \cdot Y_w^2 + \frac{1}{16} \rho \pi \cdot L_w \cdot T_2^4$$

$$= 5092,40 \text{ (Ns}^2\text{/rad)}$$

Y_w : Lebar bagian terapung dari *breakwater* (m)

$$= 22,7754 \text{ (m)}$$

k_{cy} : *Horizontal mooring spring stiffness*. (kg/s²)

: $k \cdot \cos \alpha$ dengan α adalah *mooring line angle* (°)

$$= 9,43 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

c_{44} : *Water spring stiffness* (kN/m)

$$: \rho g Y_w \cdot \overline{GM}$$

$$= 21860,33 \text{ (kN/m)}$$

\overline{OG} : *Distance of centre of gravity below the waterline* (m)

$$= 3,518 \text{ (m)}$$

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

$$= 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

k_{cz} : *Vertical mooring spring stiffness*. (kg/s²)

$$: k \cdot \sin \alpha$$

$$= 9,682 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

b_{44} : *Hydraulic roll damping* (Ns/rad)

$$: b_{44} = (b'_{44} + P_{r;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w \cdot Y_w^2}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 62055,65 \text{ (Ns/rad)}$$

Perhitungan *rolling* dengan draft 15,9 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) menggunakan persamaan (4.4) :

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{\frac{\left\{ \left(e^{-kT_1} \cdot z_b \cdot a_{22} \omega^2 \right) + \left(e^{-kT_1} \cdot y_b \cdot b_{33} \omega \right) \right\}^2 + \left\{ \left(e^{-kT_2} \cdot z_b \cdot b_{22} \omega \right) - \left(y_b \cdot e^{-kT_1} \left(c_{33} \cdot C_3 - a_{33} \omega^2 \right) \right) \right\}^2}{\left\{ \left(I + a_{44} \right) \omega^2 - \left(\frac{1}{2} Y_w^2 \cdot k_{cz} + 2T_1^2 \cdot k_{cy} + c_{44} + \overline{OG} \cdot mg \right) \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{1}{2} Y_w^2 \cdot d_{bz} + 2T_1^2 \cdot d_{by} + b_{44} \right) \omega \right\}^2}}$$

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{\frac{\left((2,718^{-0,13 \cdot 10,66}) \cdot 7,95 \cdot 1859,75 \cdot 1,34 \right) + \left((2,718^{-0,13 \cdot 14,54}) \cdot 11,32 \cdot 54446,79 \cdot (1,16^2) \right) + \left((2,718^{-0,13 \cdot 10,66}) \cdot 7,95 \cdot 31226,84 \cdot 1,16 \right) - \left(11,32 \cdot (2,718^{-0,13 \cdot 14,54}) \cdot \frac{(16873,51 \cdot 8,12 - 1889,24 \cdot 1,34)}{1889,24 \cdot 1,34} \right)^2}{\left((6000,03 + 4937,14) \cdot 1,34 \right) - (127,69 \cdot 9,386 + 872,56 \cdot 9,14) + 21193,85 + (3,410 \cdot 1971,28 \cdot 9,81)^2 + (127,69 + 872,56 + 60163,70 \cdot 1,16)^2}}$$

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{0,205160973}$$

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = 0,444 \text{ deg/m}$$

Dengan :

e : exponential = 2,718

k : angka gelombang = 0,13 (rad/m)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

m : massa floating breakwater (ton) = 1971,28 (ton)

T_1 : Draft of the floating section of the breakwater (m)

$$T_1 = \frac{m}{\rho \cdot Y_w}$$

$$= 14,54 \text{ (m)}$$

c_{33} : restoring spring coefficient (kg/s²)

$$c_{33} = \rho g A_s$$

$$= 16873,52 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

C_3 : Koefisien distribusi tekanan arah vertical.

$$: 1 - \frac{k}{Y_w} \cdot e^{-kT_1}$$

$$= 8,12$$

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^2 = 1,34 \text{ (rad/sec)}$$

a_{33} : massa tambah *heave* = 1889,25 (ton)

b_{33} : *Hydrodynamic damping for heave* (kg/s)
= 54446,8 (kg/s)

T_2 : *Draft of the screen underneath floating section of the breakwater* (m)
= 10,66 (m)

a_{22} : massa tambah *sway* (ton)

$$: a_{22} = (a'_{22} + P_{s;a;a}) \cdot \rho A + \rho \cdot \pi \cdot L_w \left(\frac{1}{2} \cdot (T_2 - T_1) \right)^2$$

$$: P_{s;a;a}$$

Adalah massa tambah *additional polynomial* yang dapat dilihat pada Tabel (B-4) (*Foustert : 2006*) Hal.B-16.

: Jadi massa tambah *sway* = 1859,75 (ton)

b_{22} : *Hydrodynamic damping for sway* (kg/s)

$$b_{22} = (b'_{22} + P_{s;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 31226,84 \text{ (kg/s)}$$

z_b : *Vertikal lever arm* (m)

$$: z_b = \frac{\ln\left(\frac{1+e^{-k \cdot T_2}}{2}\right)}{-k}$$

$$= 7,95 \text{ (m)}$$

y_b : *Horizontal lever arm* (m)

$$y_b = \frac{\cos^{-1} \left(\frac{1 + \cos \left(\frac{Y_w \pi}{L} \right)}{2} \right)}{\pi} \cdot L$$

$$= 11,32 \text{ (m)}$$

I : Massa momen inersia (m⁴)

$$: (0,35 \cdot Y_w)^2 \cdot m$$

$$= 6000,03(\text{m}^4)$$

a_{44} : Added mass moment of inertia (Ns²/rad)

$$: a_{44} = (a'_{44} + P_{r;a;a}) \cdot \rho A_w \cdot Y_w^2 + \frac{1}{16} \rho \pi \cdot L_w \cdot T_2^4$$

$$= 4937,14 \text{ (Ns}^2\text{/rad)}$$

Y_w : Lebar bagian terapung dari *breakwater* (m)

$$= 22,7754 \text{ (m)}$$

k_{cy} : Horizontal mooring spring stiffness. (kg/s²)

$$: k \cdot \cos \alpha \quad \text{dengan } \alpha \text{ adalah mooring line angle (}^\circ\text{)}$$

$$= 9,43 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

c_{44} : Water spring stiffness (kN/m)

$$: \rho g Y_w \cdot \overline{GM}$$

$$= 21860,33 \text{ (kN/m)}$$

\overline{OG} : Distance of centre of gravity below the waterline (m)

$$= 3,518 \text{ (m)}$$

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

$$= 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

k_{cz} : Vertical mooring spring stiffness. (kg/s²)

$$: k \cdot \sin \alpha$$

$$= 9,386 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

b_{44} : Hydraulic roll damping (Ns/rad)

$$: b_{44} = (b'_{44} + P_{r;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w \cdot Y_w^2}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 60163,70 \text{ (Ns/rad)}$$

Perhitungan *rolling* dengan draft 15,4 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) menggunakan persamaan (4.4) :

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{\frac{\left\{ \left(e^{-kT_2} \cdot z_b \cdot a_{22} \omega^2 \right) + \left(e^{-kT_1} \cdot y_b \cdot b_{33} \omega \right) \right\}^2 + \left\{ \left(e^{-kT_2} \cdot z_b \cdot b_{22} \omega \right) - \left(y_b \cdot e^{-kT_1} \left(c_{33} \cdot C_3 - a_{33} \omega^2 \right) \right) \right\}^2}{\left\{ \left(I + a_{44} \right) \omega^2 - \left(\frac{1}{2} Y_w^2 \cdot k_{cz} + 2T_1^2 \cdot k_{cy} + c_{44} + \overline{OG} \cdot mg \right) \right\}^2 + \left\{ \left(\frac{1}{2} Y_w^2 \cdot d_{bz} + 2T_1^2 \cdot d_{by} + b_{44} \right) \omega \right\}^2}}$$

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{\frac{\begin{aligned} &((2,718^{-0,13 \cdot 10,32}) * 7,7 * 1801,27 * 1,34) + ((2,718^{-0,13 \cdot 14,08}) * 11,32 * 52734,63 * (1,16^2)) + \\ &(2,718^{-0,13 \cdot 10,32}) * 7,7 * 30244,86 * 1,16) - (11,32 * (2,718^{-0,13 \cdot 14,08}) \frac{(16342,90 * 7,86 -}{1829,83 * 1,34})^2 \end{aligned}}{((5811,35 + 4781,88) * 1,34) - (127,69 * 9,091 + 845,12 * 8,85) + 20527,38 + (3,303 * 1909,29 * 9,81)^2 + (127,69 + 845,12 + 58271,76 * 1,16)^2}}$$

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = \sqrt{0,198709377}$$

$$\frac{\phi_a}{\zeta_a} = 0,4300 \text{ deg/m}$$

Dengan :

e : exponential = 2,718

k : angka gelombang = 0,13 (rad/m)

$$: k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

m : massa floating breakwater (ton) = 1801,26 (ton)

T_1 : Draft of the floating section of the breakwater (m)

$$: T_1 = \frac{m}{\rho \cdot Y_w}$$

$$= 14,08 \text{ (m)}$$

c_{33} : restoring spring coefficient (kg/s²)

$$: c_{33} = \rho g A_s$$

$$= 16342,90 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

C_3 : Koefisien distribusi tekanan arah vertical.

$$: 1 - \frac{k}{Y_w} \cdot e^{-kT_1}$$

$$= 7,86$$

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^2 = 1,34 \text{ (rad/sec)}$$

a_{33} : massa tambah *heave* = 1829,83 (ton)

b_{33} : *Hydrodynamic damping for heave* (kg/s)

$$= 52734,63 \text{ (kg/s)}$$

T_2 : *Draft of the screen underneath floating section of the breakwater* (m)

$$= 10,82 \text{ (m)}$$

a_{22} : massa tambah *sway* (ton)

$$: a_{22} = (a'_{22} + P_{s;a;a}) \cdot \rho A + \rho \cdot \pi \cdot L_w \left(\frac{1}{2} \cdot (T_2 - T_1) \right)^2$$

$$: P_{s;a;a}$$

Adalah massa tambah *additional polynomial* yang dapat dilihat pada

Tabel (B-4) (*Foustert : 2006*) Hal.B-16.

: Jadi massa tambah *sway* = 1801,26 (ton)

b_{22} : *Hydrodynamic damping for sway* (kg/s)

$$b_{22} = (b'_{22} + P_{s;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 30244,86 \text{ (kg/s)}$$

z_b : *Vertikal lever arm* (m)

$$: z_b = \frac{\ln\left(\frac{1+e^{-k \cdot T_2}}{2}\right)}{-k}$$

$$= 7,7 \text{ (m)}$$

y_b : Horizontal lever arm (m)

$$: y_b = \frac{\cos^{-1}\left(\frac{1 + \cos\left(\frac{Y_w \cdot \pi}{L}\right)}{2}\right)}{\pi} \cdot L$$

$$= 11,32 \text{ (m)}$$

I : Massa momen inersia (m⁴)

$$: (0,35 \cdot Y_w)^2 \cdot m$$

$$= 5811,35 \text{ (m}^4\text{)}$$

a_{44} : Added mass moment of inertia (Ns²/rad)

$$: a_{44} = (a'_{44} + P_{r;a;a}) \cdot \rho A_w \cdot Y_w^2 + \frac{1}{16} \rho \pi \cdot L_w \cdot T_2^4$$

$$= 4781,88 \text{ (Ns}^2\text{/rad)}$$

Y_w : Lebar bagian terapung dari *breakwater* (m)

$$= 22,7754 \text{ (m)}$$

k_{σ} : Horizontal mooring spring stiffness. (kg/s²)

$$: k \cdot \cos \alpha \quad \text{dengan } \alpha \text{ adalah mooring line angle (}^\circ\text{)}$$

$$= 8,85 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

c_{44} : Water spring stiffness (kN/m)

$$: \rho g Y_w \cdot \overline{GM}$$

$$= 20527,38 \text{ (kN/m)}$$

\overline{OG} : Distance of centre of gravity below the waterline (m)

$$= 3,303 \text{ (m)}$$

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

$$= 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

k_{cz} : Vertical mooring spring stiffness. (kg/s^2)

$$: k \cdot \sin \alpha$$

$$= 9,682 \text{ (kg/s}^2\text{)}$$

b_{44} : Hydraulic roll damping (Ns/rad)

$$: b_{44} = (b'_{44} + P_{r;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w \cdot Y_w^2}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 58271,76 \text{ (Ns/rad)}$$

4.2.6 Perhitungan Tinggi Gelombang Transmisi Pada Saat Gerak *Heave*

Mencari tinggi gelombang transmisi dengan variasi draft 16,4 meter pada saat gerak *heave* dan frekuensi gelombang 1,16(rad/s). Perhitungan menggunakan persamaan :

$$\zeta_{T;heave}(t) = \sqrt{\frac{b_{33} \cdot \omega^3 \cdot z_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cos(\omega t + \varepsilon_{z\zeta}) \dots \dots \dots \text{persamaan (4.5)}$$

$$\zeta_{T;heave}(t) = \sqrt{\frac{56158,96 * 1,56 * 0,043}{30 * 1,025 * 96,23}} * 0,55$$

$$\zeta_{T;heave}(t) = \sqrt{0,010227}$$

$$\zeta_{T;heave}(t) = 0,075 \text{ m}$$

Dengan :

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^3 = 1,56 \text{ (rad/sec)}$$

$$b_{33} : \text{Hydrodynamic damping for heave (kg/s)}$$

$$= 56518,96 \text{ (kg/s)}$$

$$L_w : \text{Panjang keseluruhan dari breakwater (m)}$$

$$= 30 \text{ (m)}$$

$$g : \text{Percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

$$g^2 = 96,23 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$\rho : \text{massa jenis air laut (kg/m}^3\text{)}$$

$$= 1,025 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$z_a^2 : \text{Vertical lever arm relative to the rotation point (m)}$$

$$= 0,043$$

$$\varepsilon_{z\zeta} : \text{phase shift with: } 0 \leq \varepsilon_{z\zeta} \leq 2\pi$$

Mencari tinggi gelombang transmisi dengan variasi draft 15,9 meter pada saat gerak *heave* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s). Perhitungan menggunakan persamaan (4.5) :

$$\zeta_{T;heave}(t) = \sqrt{\frac{b_{33} \cdot \omega^3 \cdot z_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cos(\omega t + \varepsilon_{z\zeta})$$

$$\zeta_{T;heave}(t) = \sqrt{\frac{54446,79 * 1,56 * 0,041}{30 * 1,025 * 96,23}} * 0,55$$

$$\zeta_{T;heave}(t) = \sqrt{0,009915}$$

$$\zeta_{T;heave}(t) = 0,072 \text{ m}$$

Dengan :

$$\omega : \text{frekuensi gelombang (rad/sec)}$$

$$: \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^3 = 1,56 \text{ (rad/sec)}$$

b_{33} : Hydrodynamic damping for heave (kg/s)
 $= 54446,79$ (kg/s)

L_w : Panjang keseluruhan dari *breakwater* (m)
 $= 30$ (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

g^2 $= 96,23$ (m/s^2)

ρ : massa jenis air laut (kg/m^3)
 $= 1,025$ (kg/m^3)

z_a^2 : Vertical lever arm relative to the rotation point (m)
 $= 0,041$

$\varepsilon_{z\zeta}$: phase shift with: $0 \leq \varepsilon_{z\zeta} \leq 2\pi$

Mencari tinggi gelombang transmisi dengan variasi draft 15,4 meter pada saat gerak *heave* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s). Perhitungan menggunakan persamaan (4.5) :

$$\zeta_{T;heave}(t) = \sqrt{\frac{b_{33} \cdot \omega^3 \cdot z_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cos(\omega t + \varepsilon_{z\zeta})$$

$$\zeta_{T;heave}(t) = \sqrt{\frac{52734,62 * 1,56 * 0,0397}{30 * 1,025 * 96,23}} * 0,55$$

$$\zeta_{T;heave}(t) = \sqrt{0,00960}$$

$$\zeta_{T;heave}(t) = 0,069 \text{ m}$$

Dengan :

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

ω^3 $= 1,56$ (rad/sec)

b_{33} : Hydrodynamic damping for heave (kg/s)
 $= 52734,62$ (kg/s)

L_w : Panjang keseluruhan dari *breakwater* (m)
 $= 30$ (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

g^2 $= 96,23$ (m/s^2)

ρ : massa jenis air laut (kg/m^3)
 $= 1,025$ (kg/m^3)

z_a^2 : Vertical lever arm relative to the rotation point (m)
 $= 0,0397$

$\varepsilon_{z\zeta}$: phase shift with: $0 \leq \varepsilon_{z\zeta} \leq 2\pi$

4.2.7 Perhitungan Tinggi Gelombang Transmisi Pada Saat Gerak Sway

Mencari tinggi gelombang transmisi dengan variasi draft 16,4 meter pada saat gerak *sway* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s). Perhitungan menggunakan persamaan :

$$\zeta_{T;sway}(t) = \sqrt{\frac{b_{22} \cdot \omega^3 \cdot y_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon_{y\zeta}) \dots\dots \text{persamaan (4.6)}$$

$$\zeta_{T;sway}(t) = \sqrt{\frac{(32208,817 * 1,56 * ((1,782)^2))}{30 * 1,025 * 96,23}} * 0,55$$

$$\zeta_{T;sway}(t) = \sqrt{0,0039333}$$

$$\zeta_{T;sway}(t) = 0,090 \text{ m}$$

Dengan :

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

ω^3 $= 1,56$ (rad/sec)

b_{22} : Hydrodynamic damping for sway (kg/s)

$$b_{22} = (b'_{22} + P_{s,d;a}) \cdot \frac{\rho A_w}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 32208,817 \text{ (kg/s)}$$

L_w : Panjang keseluruhan dari *breakwater* (m)

$$= 30 \text{ (m)}$$

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

$$g^2 = 96,23 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

ρ : massa jenis air laut (kg/m^3)

$$= 1,025 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

y_a^2 : Horizontal lever arm relative to the rotation point (m)

$$= 1,782$$

$\varepsilon_{y\zeta}$: phase shift with: $0 \leq \varepsilon_{y\zeta} \leq 2\pi$

Mencari tinggi gelombang transmisi dengan variasi draft 15,9 meter pada saat gerak *sway* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s). Perhitungan menggunakan persamaan (4.6) :

$$\zeta_{T;sway}(t) = \sqrt{\frac{b_{22} \cdot \omega^3 \cdot y_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon_{y\zeta})$$

$$\zeta_{T;sway}(t) = \sqrt{\frac{(31226,841 \cdot 1,56 \cdot ((1,7276)^2))}{30 \cdot 1,025 \cdot 96,23}} \cdot 0,55$$

$$\zeta_{T;sway}(t) = \sqrt{0,0036383}$$

$$\zeta_{T;sway}(t) = 0,087 \text{ m}$$

Dengan :

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^3 = 1,56 \text{ (rad/sec)}$$

b_{22} : *Hydrodynamic damping for sway* (kg/s)

$$b_{22} = (b'_{22} + P_{x,d;a}) \cdot \frac{\rho A_w}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 31226,841 \text{ (kg/s)}$$

L_w : Panjang keseluruhan dari *breakwater* (m)

$$= 30 \text{ (m)}$$

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

$$g^2 = 96,23 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

ρ : massa jenis air laut (kg/m^3)

$$= 1,025 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

y_a^2 : *Horizontal lever arm relative to the rotation point* (m)

$$= 1,7276$$

$\varepsilon_{y\zeta}$: *phase shift with: $0 \leq \varepsilon_{y\zeta} \leq 2\pi$*

Mencari tinggi gelombang transmisi dengan variasi draft 15,4 meter pada saat gerak *sway* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s). Perhitungan menggunakan persamaan (4.6) :

$$\zeta_{T;sway}(t) = \sqrt{\frac{b_{22} \cdot \omega^3 \cdot y_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon_{y\zeta})$$

$$\zeta_{T;sway}(t) = \sqrt{\frac{(30244,865 \cdot 1,56 \cdot ((1,6733)^2))}{30 \cdot 1,025 \cdot 96,23}} \cdot 0,55$$

$$\zeta_{T;sway}(t) = \sqrt{0,0033562}$$

$$\zeta_{T;sway}(t) = 0,084 \text{ m}$$

Dengan :

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^3 = 1,56 \text{ (rad/sec)}$$

b_{22} : *Hydrodynamic damping for sway* (kg/s)

$$b_{22} = (b'_{22} + P_{x,d;a}) \cdot \frac{\rho A_w}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 30244,865 \text{ (kg/s)}$$

L_w : Panjang keseluruhan dari *breakwater* (m)

$$= 30 \text{ (m)}$$

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

$$g^2 = 96,23 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

ρ : massa jenis air laut (kg/m^3)

$$= 1,025 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

y_a^2 : *Horizontal lever arm relative to the rotation point* (m)

$$= 1,6733$$

$\varepsilon_{y\zeta}$: *phase shift with: $0 \leq \varepsilon_{y\zeta} \leq 2\pi$*

4.2.8 Perhitungan Tinggi Gelombang Transmisi Pada Saat Gerak *Roll*

Mencari tinggi gelombang transmisi dengan variasi draft 16,4 meter pada saat gerak *rolling* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s). Perhitungan menggunakan persamaan :

$$\zeta_{T;roll}(t) = -\sqrt{\frac{b_{44} \cdot \omega^3 \cdot \phi_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon_{\phi\zeta}) \quad \dots\dots \text{persamaan (4.7)}$$

$$\zeta_{T;roll}(t) = -\sqrt{\frac{(62055,65 \cdot 1,56 \cdot ((3,253)^2))}{30 \cdot 1,025 \cdot 96,23}} \cdot 0,55$$

$$\zeta_{T;roll}(t) = \sqrt{0,072752}$$

$$\zeta_{T;roll}(t) = 0,32 \text{ m}$$

Dengan :

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega^3 = 1,56 \text{ (rad/sec)}$$

b_{44} : *Hydraulic roll damping* (Ns/rad)

$$b_{44} = (b'_{44} + P_{r;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w \cdot Y_w^2}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

$$= 62055,65 \text{ (Ns/rad)}$$

L_w : Panjang keseluruhan dari *breakwater* (m)

$$= 30 \text{ (m)}$$

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

$$g^2 = 96,23 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

ρ : massa jenis air laut (kg/m³)

$$= 1,025 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

ϕ_a^2 : Arah rotasi (rad)

$$= 3,253$$

$\varepsilon_{\phi\zeta}$: *phase shift with*: $0 \leq \varepsilon_{\phi\zeta} \leq 2\pi$

Mencari tinggi gelombang transmisi dengan variasi draft 15,9 meter pada saat gerak *rolling* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s). Perhitungan menggunakan persamaan (4.7) :

$$\zeta_{T;roll}(t) = -\sqrt{\frac{b_{44} \cdot \omega^3 \cdot \phi_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon_{\phi\zeta})$$

$$\zeta_{T;roll}(t) = \sqrt{\frac{(60163,70 * 1,56 * ((3,153)^2))}{30 * 1,025 * 96,23}} * 0,55$$

$$\zeta_{T;roll}(t) = \sqrt{0,0676288}$$

$$\zeta_{T;roll}(t) = 0,310 \text{ m}$$

Dengan :

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$\omega^3 = 1,56$ (rad/sec)

b_{44} : Hydraulic roll damping (Ns/rad)

$$b_{44} = (b'_{44} + P_{r;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w \cdot Y_w^2}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

= 60163,70 (Ns/rad)

L_w : Panjang keseluruhan dari *breakwater* (m)

= 30 (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

$g^2 = 96,23$ (m/s²)

ρ : massa jenis air laut (kg/m³)

= 1,025 (kg/m³)

ϕ_a^2 : Arah rotasi (rad)

= 3,153

$\epsilon_{\phi\zeta}$: phase shift with: $0 \leq \epsilon_{\phi\zeta} \leq 2\pi$

Mencari tinggi gelombang transmisi dengan variasi draft 15,4 meter pada saat gerak *rolling* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s). Perhitungan menggunakan persamaan (4.7) :

$$\zeta_{T;roll}(t) = -\sqrt{\frac{b_{44} \cdot \omega^3 \cdot \phi_a^2}{L_w \cdot \rho \cdot g^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon_{\phi\zeta})$$

$$\zeta_{T;roll}(t) = -\sqrt{\frac{(58271 \cdot 1,56 \cdot ((3,054)^2))}{30 \cdot 1,025 \cdot 96,23}} \cdot 0,55$$

$$\zeta_{T;roll}(t) = \sqrt{0,062716}$$

$$\zeta_{T;roll}(t) = 0,30 \text{ m}$$

Dengan :

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$\omega^3 = 1,56$ (rad/sec)

b_{44} : *Hydraulic roll damping* (Ns/rad)

$$b_{44} = (b'_{44} + P_{r;d;a}) \cdot \frac{\rho A_w \cdot Y_w^2}{\sqrt{\frac{Y_w}{2g}}}$$

= 58271,86 (Ns/rad)

L_w : Panjang keseluruhan dari *breakwater* (m)

= 30 (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

$g^2 = 96,23$ (m/s²)

ρ : massa jenis air laut (kg/m³)

= 1,025 (kg/m³)

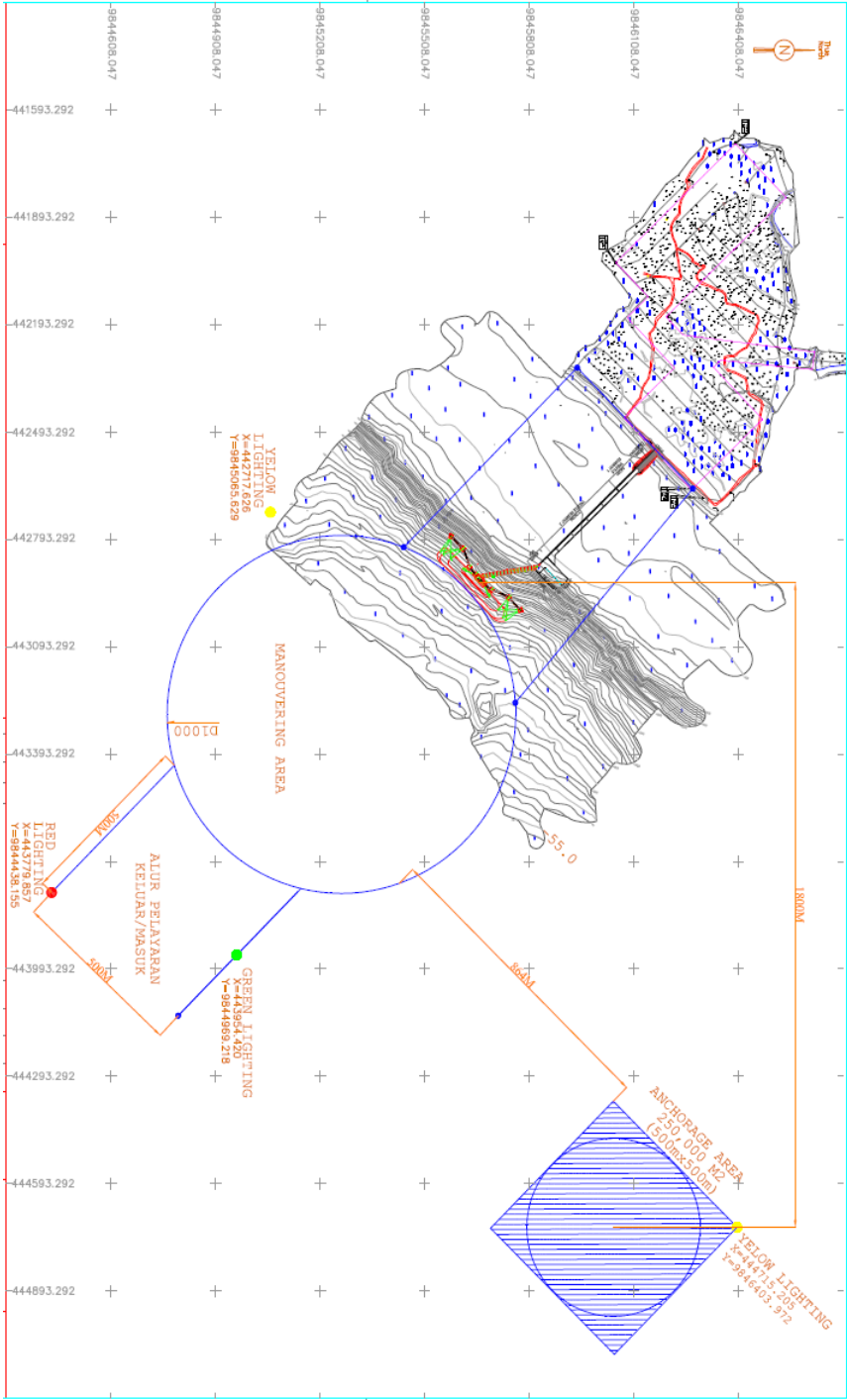
ϕ_a^2 : Arah rotasi (rad)

$$= 3,054$$

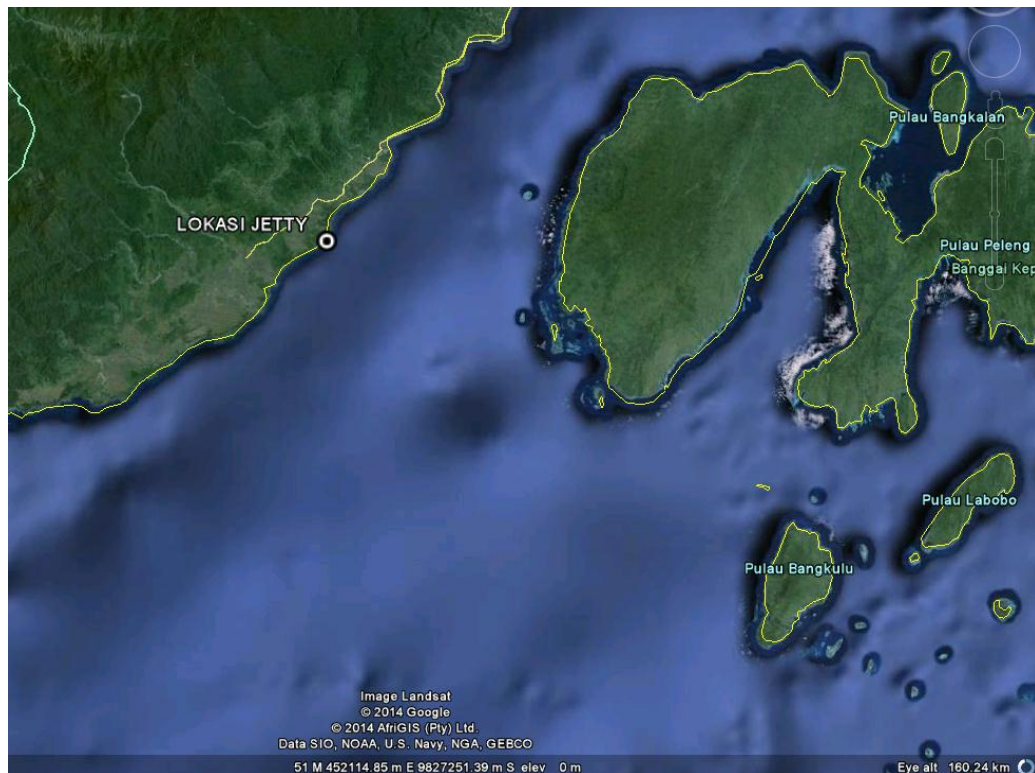
$\varepsilon_{\phi\zeta}$: *phase shift* with: $0 \leq \varepsilon_{\phi\zeta} \leq 2\pi$

LAMPIRAN

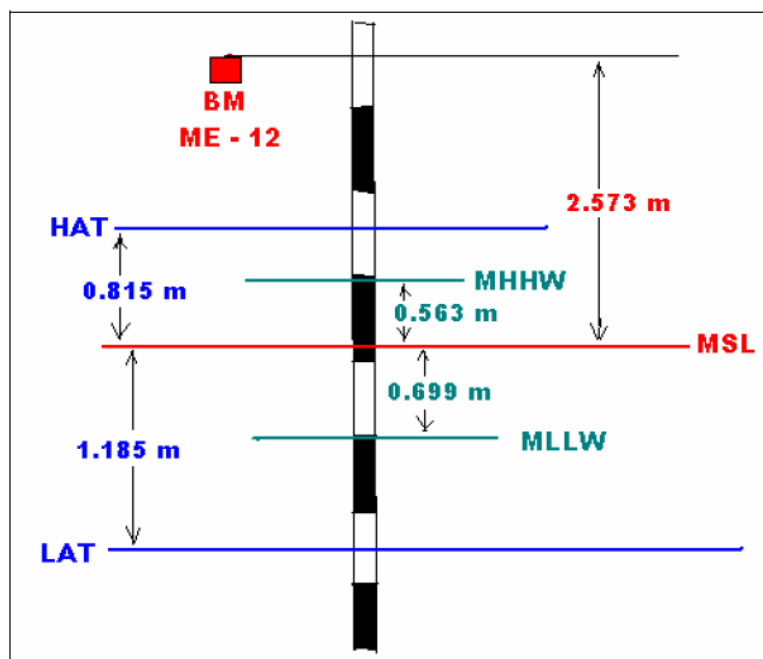
A. Hasil Analisa Data Lingkungan



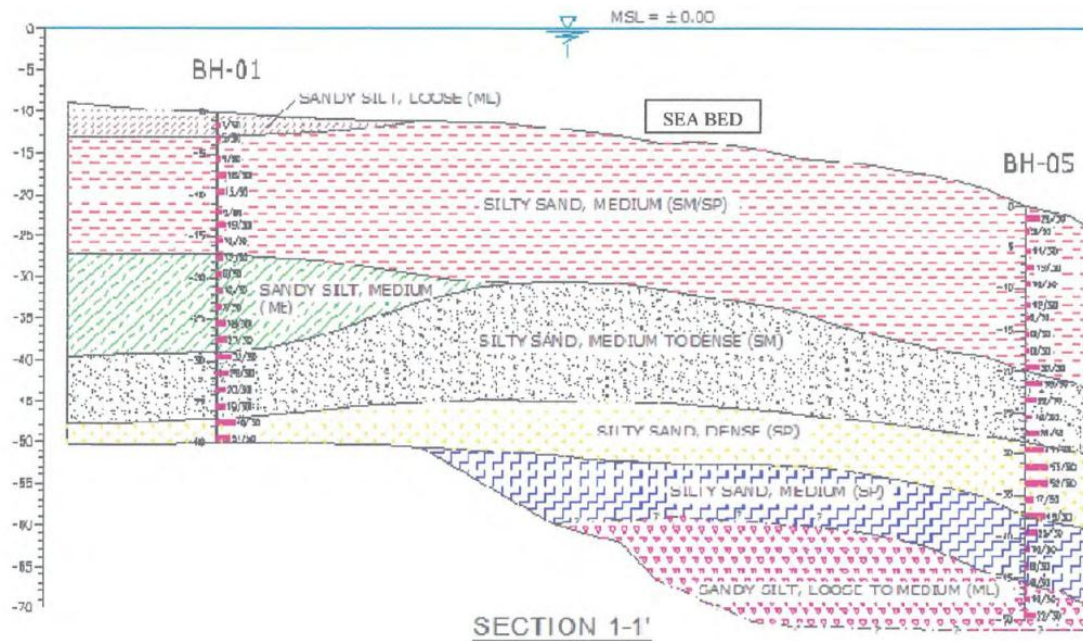
Gambar Layout lokasi studi di Senoro Fiel



Gambar Posisi lokasi di *google earth*. Menunjukkan pendeknya *fetch* dari arah timur



Gambar Tinggi muka air rencana hasil pengukuran pasang surut
(Sumber : PT. ITS Kemitraan, 2013)



Gambar Profil tanah di lokasi studi

(Sumber : PT. ITS Kemitraan, 2013)

Dengan menggunakan teori-teori yang sesuai, proses penjalaran gelombang dianalisa. Untuk mempermudah proses perhitungan, sebuah perangkat lunak sederhana dikembangkan dan hasilnya dapat diikuti pada tabel-tabel berikut:

Tabel *Wave transformation* untuk $d=30\text{m}$.
Data: 50 year return period dari timur

Deep Water Values:		L (m) =	35.399
Wave Height (m)?	2.3	$k=2\pi/L =$	0.1774956
Period	4.76	$C=L/T =$	7.436
Wave Angle (°)?	45	$C_g =$	3.72
Local Depth?	30	$n= C_g/C =$	0.5003054
		$K_s =$	0.999
		$K_r =$	0.999
		Angle =	44.997284
		H =	2.295
		u_b (m/s) =	0.014
Calculate	Reset	E (N-m/m ²) =	6458.689
		E_f (Watts/m) =	24026.323
		$K_p =$	0.009

Table. *Wave transformation* untuk d=30m.
Data: 50 year return period dari selatan

Deep Water Values:		L (m) =	39.682
Wave Height (m)?	2.7	$k=2\pi/L =$	0.1583379
Period	5.04	$C=L/T =$	7.873
Wave Angle (°)?	315	$C_g =$	3.942
Local Depth?	30	$n= C_g/C =$	0.5007388
		$K_s =$	0.999
		$K_r =$	0.999
		Angle =	-44.991425
		H =	2.694
		u_b (m/s) =	0.029
Calculate	Reset	E (N-m/m ²) =	8899.676
		E_f (Watts/m) =	35082.522
		$K_p =$	0.017

Table. *Wave transformation* untuk d=30m.
Data: 50 year return period dari barat daya

Deep Water Values:		L (m) =	87.606
Wave Height (m)?	2.26	$k = 2\pi/L =$	0.07172084
		$C = L/T =$	11.542
Period	7.59	$C_g =$	6.443
Wave Angle (°)?	270	$n = C_g/C =$	0.5582251
		$K_s =$	0.959
Local Depth?	30	$K_r =$	0.0
		Angle =	-76.73316
		H =	0.0
		u_b (m/s) =	0.0
Calculate	Reset	E (N-m/m ²) =	0.0
		E_f (Watts/m) =	0.0
		$K_p =$	0.229

Table. *Wave transformation* untuk d=10m.
Data: 50 year return period dari timur

Deep Water Values:		L (m) =	33.733
Wave Height (m)?	2.3	$k = 2\pi/L =$	0.18625696
		$C = L/T =$	7.086
Period	4.76	$C_g =$	4.18
Wave Angle (°)?	45	$n = C_g/C =$	0.5899449
		$K_s =$	0.943
Local Depth?	10	$K_r =$	0.978
		Angle =	42.362053
		H =	2.121
		u_b (m/s) =	0.445
Calculate	Reset	E (N-m/m ²) =	5516.458
		E_f (Watts/m) =	23058.793
		$K_p =$	0.303

Table *Wave transformation* untuk d=10m.
Data: 50 year return period dari selatan

Deep Water Values:		L (m) =	37.093
Wave Height (m)?	2.7	$k = 2\pi/L =$	0.16938579
Period	5.04	$C = L/T =$	7.359
Wave Angle (°)?	315	$C_g =$	4.523
Local Depth?	10	$n = C_g/C =$	0.6146632
		$K_s =$	0.933
		$K_r =$	0.97
		Angle =	-41.367638
		H =	2.443
		u_b (m/s) =	0.579
Calculate	Reset	E (N-m/m ²) =	7318.565
		E_f (Watts/m) =	33101.867
		$K_p =$	0.355

Table *Wave transformation* untuk $d=10\text{m}$.
Data: 50 year return period dari barat daya

Deep Water Values:		L (m) =	66.421
Wave Height (m)?	2.26	$k = 2\pi/L =$	0.09459579
Period	7.59	$C = L/T =$	8.751
Wave Angle (°)?	270	$C_g =$	6.93
Local Depth?	10	$n = C_g/C =$	0.7919203
		$K_s =$	0.924
		$K_r =$	0.0
		Angle =	-47.55688
		H =	0.0
		u_b (m/s) =	0.0
Calculate	Reset	E (N-m/m ²) =	0.0
		E_f (Watts/m) =	0.0
		$K_p =$	0.674

Table. *Wave transformation* untuk $d=1\text{m}$.
Data: 50 year return period dari timur


Deep Water Values:		L (m) =	14.471
Wave Height (m)?	2.3	$k=2\pi/L =$	0.43416783
Period	4.76	$C=L/T =$	3.04
Wave Angle (o)?	45	$C_g =$	2.864
Local Depth?	1	$n= C_g/C =$	0.94237596
		$K_s =$	1.139
		$K_r =$	0.859
		Angle =	16.80194
		H =	0.8, breaking
		u_b (m/s) =	1.178
Calculate	Reset	E (N-m/m ²) =	784.8
		E_f (Watts/m) =	2247.667
		$K_p =$	0.912

Table. *Wave transformation* untuk d=1m.
Data: 50 year return period dari selatan

Deep Water Values:		L (m) =	15.373
Wave Height (m)?	2.7	$k=2\pi/L =$	0.4086956
Period	5.04	$C=L/T =$	3.05
Wave Angle (o)?	315	$C_g =$	2.892
Local Depth?	1	$n= C_g/C =$	0.9484846
		$K_s =$	1.166
		$K_r =$	0.857
		Angle =	-15.8969555
		H =	0.8, breaking
		u_b (m/s) =	1.186
Calculate	Reset	E (N-m/m ²) =	784.8
		E_f (Watts/m) =	2269.641
		$K_p =$	0.921

Table *Wave transformation* untuk d=1m.
Data: 50 year return period dari barat daya

Deep Water Values:

Wave Height (m)?	<input type="text" value="2.6"/>
<div>Period </div>	<input type="text" value="7.59"/>
Wave Angle (o)?	<input type="text" value="270"/>
Local Depth?	<input type="text" value="1"/>

<div>Calculate </div>	<div>Reset</div>
--	------------------

L (m) =
k=2 pi/L =
C =L/T =
Cg =
n= Cg/C =
Ks =
Kr =
Angle =
H =
u_b (m/s) =
E (N-m/m^2) =
E_f (Watts/m) =
K_p=

23.504
0.26732323
3.096
3.025
0.9771765
1.4
0.0
-15.137262
0.0
0.0
0.0
0.0
0.965

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Koefisien transmisi yang diharapkan di pelabuhan sebesar 0,218
2. Hasil RAO *heave* dengan draft 16,4 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) adalah 0,024 (m/m) dan dengan draft 15,9 meter adalah 0,023 (m/m) dan dengan draft 15,4 meter adalah 0,022 (m/m). Hasil RAO *sway* dengan draft 16,4 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) adalah 0,252 (m/m) dan dengan draft 15,9 meter adalah 0,244 (m/m) dan dengan draft 15,4 meter adalah 0,236 (m/m). Hasil RAO *roll* dengan draft 16,4 meter pada frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) adalah 0,458 (deg/m), dan dengan draft 15,9 meter adalah 0,444 (deg/m) dan dengan draft 15,4 meter adalah 0,430 (deg/m).
3. Hasil tinggi gelombang transmisi dengan draft 16,4 meter pada saat gerak *heave* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) adalah 0,075 meter dan dengan draft 15,9 meter adalah 0,072 meter dan dengan draft 15,4 meter adalah 0,069 meter. Hasil tinggi gelombang transmisi dengan draft 16,4 meter pada saat gerak *sway* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) adalah 0,090 meter dan dengan draft 15,9 meter adalah 0,087 meter dan dengan draft 15,4 meter adalah 0,084 meter. Hasil tinggi gelombang transmisi dengan draft 16,4 meter pada saat gerak *rolling* dan frekuensi gelombang 1,16 (rad/s) adalah 0,32 meter dan dengan draft 15,9 meter adalah 0,310 meter dan dengan draft 15,4 meter adalah 0,300 meter.

5.2 SARAN

Beberapa hal yang dapat dijadikan saran yang sifatnya membangun penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa kekuatan struktur dari *floating breakwater*.
2. Menganalisa perhitungan biaya konstruksi dari *floating breakwater*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, R., 1978, *Dynamics of Marine Vehicles*, New York: John Wiley & Sons Inc.
- Djarmiko, E.B., 2003, *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS Press, Surabaya.
- Fousert, M.W., 2006, *Floating Breakwater: Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System*, TU Delft, Netherland.
- Hales, Lyndell Z., 1981, *Floating Breakwater: State of the Art, Literature Preview*, TR 81-1, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, CE, Fort Belvoir, Va.
- McCartney, Bruce, L., 1985, *Floating Breakwater Design*, Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 111, No.2.
- Murtedjo, M., 1990, *Teori Gerak*, Surabaya : Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- PT. ITS Kemitraan, 2013, *Preliminary Report: Efektifitas Pelindung Pantai untuk Kolam Labuh dan Penanggulangan Erosi Pantai di Senoro Field*, ITS Kemitraan, Surabaya.
- Soedjono, J. J., 1998, *Diktat mata kuliah Teori Bangunan Kapal*. Jurusan Teknik Kelautan ITS , Surabaya.
- Triatmodjo, Bambang, 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang dilahirkan oleh pasangan C.Suwarno dan Mistriani. Penulis dilahirkan di Wamena, 23 Juli 1989. Pendidikan formal yang sudah ditempuh penulis yaitu mulai di TK Dharma Wanita, SD Negeri 2 Talangagung, SMP Negeri 4 Kepanjen, dan SMA Negeri 1 Kepanjen. Setelah tamat dari SMA pada tahun 2007, penulis meneruskan pendidikan di Jurusan Teknik Kelautan FTK – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan terdaftar dengan NRP 4307100069. Selama perkuliahan penulis mempelajari semua bidang studi yang diajarkan, untuk keperluan tugas akhir penulis memfokuskan diri pada Bidang Studi Rekayasa Pantai di bawah bimbingan Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. dengan topik floating breakwater. Selain kegiatan studi, penulis aktif di beberapa kegiatan kemahasiswaan, pelatihan, seminar. Penulis juga pernah mengikuti Program Kreatifitas Mahasiswa (PKM) serta beberapa kegiatan bermanfaat lainnya.